N° d'ordre : 41

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE DIPLOME DE DOCTEUR DE 3e CYCLE SPÉCIALITÉ GÉOLOGIE APPLIQUÉE

PAR

Jean-Pierre VANÇON
Licencié ès-Sciences

THÈSE

RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE DES SITES DE BARRAGES

SUR LE DOUBS, LA LOUE ET LEURS AFFLUENTS JURASSIENS

Soutenue le Juin 1965, devant la Commission d'Examen

JURY : MM. **DREYFUSS,** Professeur — Président
THÉOBALD, Professeur — Examinateurs
THIEBAUT, Professeur — Examinateurs

N° d'ordre : 41

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE DIPLOME DE DOCTEUR DE 3e CYCLE SPÉCIALITÉ GÉOLOGIE APPLIQUÉE

PAR

Jean-Pierre VANÇON

Licencié ès-Sciences

THÈSE

RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE DES SITES DE BARRAGES

SUR LE DOUBS, LA LOUE ET LEURS AFFLUENTS JURASSIENS

Soutenue le Juin 1965, devant la Commission d'Examen

JURY : MM. **DREYFUSS,** Professeur — Président
THÉOBALD, Professeur — Examinateurs
THIEBAUT, Professeur — Examinateurs

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN

UNIVERSITE
DE
BESANCON

F A C U L T E D E S S C I E N C E S

(à la date du 3 février 1965)

Doyen Honoraire : M. GLANGEAUD
Professeurs Honoraires : MM. BAILLAUD R., DUFFIEUX, THIRY, TRILLAT, UEBERSFELD, VINCENSINI.
Maitre de Conférences Honoraire : M. GRANIER

DOYEN : M. JACQUEMAIN : Chimie Appliquée

ASSESSEUR : M. MESNAGE : Chronométrie

PROFESSEURS :

MM.	TRONCHET	: Botanique
	CHATELET	: Mathématiques
	PERROT	: Chimie Générale
	DREYFUSS	: Géologie - Minéralogie
	THEOBALD	: Paléontologie et géologie stratigraphique
	CROISOT	: Méthodes mathématiques de la Physique
	QUANTIN	: Botanique
	NAHON	: Mécanique Générale
	CHALEAT	: Mécanique Appliquée
	BERNARD	: Chimie - Physique
	RIPPLINGER	: Physiologie Animale
	RIGAL	: Calcul Numérique
	VIENOT	: Physique
Mme	ROZIS	: Physique
MM.	THIEBAUT	: Géologie - Minéralogie
	GOMOT	: Zoologie
	PLUVINAGE	: Physique Théorique
	ARBEY	: Astronomie

PROFESSEUR ASSOCIE :

M.	DEFIX	: Mécanique Appliquée

PROFESSEURS SANS CHAIRE :

MM.	POTIER	: Physique des Solides
	DEVIN	: Chimie Générale
	MOTCHANE	: Electronique

MAITRES DE CONFERENCES :

MM.	VALLEE	: Mathématiques Appliquées
	REAL	: Zoologie
	GOUARNE	: Mathématiques
Mle	LEGRAND	: Botanique
MM.	CERUTTI	: Chimie Appliquée
	REMOND	: Chargé d'enseignement de la maitrise de Conférences de Chronométrie.
	BONNEAU	: Chargé d'enseignement de la maitrise de Conférences d'Astronomie
	GUERIN	; Chargé d'enseignement de la maitrise de Conférences de Mathématiques

CONSEILLER ADMINISTRATIF UNIVERSITAIRE : M. LAMBERT

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547626_0023

Dans une séance du début de 1963, le Comité Technique Bourgogne-Franche-Comté de l'Eau préconisait la réalisation d'un inventaire des sites de barrages possibles, pour la création de réserves importantes dont l'utilité pourrait bien se révéler dans un avenir proche.

Membre de ce Comité, Monsieur le Professeur DREYFUSS, Directeur du Centre de 3e cycle de Géologie Appliquée, m'a alors confié ce travail passionnant, et a su par la suite me guider à travers les embûches de la recherche, ce dont je lui suis infiniment reconnaissant.

Ma gratitude s'adresse également à Monsieur le Professeur N. THEOBALD et à Monsieur le Professeur J. THIEBAUT.

Je n'oublierai pas, dans mes remerciements, tous les membres de ce laboratoire qui ont apporté leur concours à l'élaboration de cette étude :

Messieurs M. ROLLET, J. MARTIN et J. BULLE

Madame A. ROLLET, Messieurs J. BLAISON, J. BOURQUIN, D. CONTINI, et Y. RANGHEARD, qui se sont chargés de la détermination des fossiles.

Mademoiselle CHARNAY, Messieurs GARCIA, PEGUENET et TRUCHE, artisans de la réalisation matérielle de cette thèse.

Que Monsieur BALME, Ingénieur des Ponts et Chaussées, et Monsieur GAUDOT, Assistant à la Faculté de Droit et Sciences Economiques de Dijon, trouvent ici l'expression de ma reconnaissance pour leur aide précieuse.

Je ne terminerai pas sans remercier pour leurs renseignements :

Monsieur AMAZ, Ingénieur-Géologue à l'E.D.F.

Les membres du Groupe Spéléologique du Doubs

La 2e Circonscription Electrique de Dijon

Les Groupes Régionaux de Production Hydraulique RHIN et RHONE (E.D.F.)

Le Service Fédéral des Eaux à Berne.

I N T R O D U C T I O N

----oOo-----

Les rivières qui drainent le département du Doubs sont exploitées depuis longtemps en vue de la production hydroélectrique. Ce sont de petits barrages qui alimentent des scieries ou des communes isolées, et quelques barrages importants sur le Doubs, exploités par l'E.D.F. Mais aucun barrage n'a été envisagé jusqu'à présent dans cette région pour l'irrigation, la régularisation des débits ou le stockage de réserves pour alimenter en eau des industries,des collectivités ou même des particuliers.

Les besoins sans cesse croissants dans ce domaine, auquels vont s'ajouter les besoins importants dus à la création d'un canal à grand gabarit empruntant le trajet de l'actuel canal du Rhône au Rhin, conduisent à envisager la création de réserves.

Dans ce but, sera effectué ici l'inventaire des sites de barrages qui peuvent être retenus dans le département, en prenant pour point de départ une étude générale d'hydrologie et des considérations de caractère économique et topographique. Dans un deuxième temps, sera discutée l'opportunité du choix de chaque emplacement, en fonction d'une étude géologique de détail.

I - H Y D R O L O G I E

-----oOo-----

A - DESCRIPTION DU RESEAU

Le Doubs suit un tracé tortueux, qui rappelle grossièrement la forme d'un M. R.COLLE (1949) subdivise son cours en quatre tronçons. Dans sa thèse, X. CAQUINEAU (1962) donne une autre classification, en trois parties. Pour l'étude hydrologique que nous allons entreprendre ici, nous adopterons une subdivision en trois parties également, mais qui emprunte ses éléments aux deux auteurs.

1°) Le cours supérieur, va de la source située à Mouthe, à la cote 944,7, jusqu'aux bassins du Doubs, appelés lac des Brenets par les auteurs suisses. La région est fortement plissée, presque essentiellement calcaire. Les débits moyens sont faibles: 4,3 m3/s à Labergement, 7,8 m3/s à Pontarlier. La pente moyenne du lit est de 2,25 m au kilomètre. Dans les fissures du calcaire, le Doubs perd une partie importante de son eau, dont trois zones principales de pertes sont connues :

- en aval du lac St-Point
- à Pontarlier même
- sur un tronçon compris entre Arçon et Maison-du-Bois.

Cela représente une importante ponction dans le débit du Doubs, surtout en période d'étiage où le lit est à sec en aval d'Arçon, alors que le débit est encore notable à Pontarlier. Sur ce cours supérieur, le Doubs reçoit un affluent important, le Drugeon, qui lui-même perd une partie de son eau dans les fissures du calcaire. Ces pertes alimentent la source de la Loue. Une légère régularisation des débits est apportée dans cette zone par les lacs de Remoray et de St-Point, ce dernier étant maintenu à un certain niveau par le barrage d'Oye-et-Pallet.

2°) Le cours moyen, va des bassins du Doubs à la région de St-Hippolyte. On se trouve toujours dans le faisceau helvétique, c'est à dire une région plissée et essentiellement calcaire.

Les débits sont beaucoup plus forts : 18 m3/s à la sortie du lac des Brenets, 24 m3/s au Refrain, 27 m3/s à Goumois, 31 m3/s à Ocourt. Le Doubs se fraye un chemin à travers des gorges, coupées en plusieurs points par des barrages E.D.F., qui provoquent une certaine régularisation, différente d'une régularisation naturelle : après le barrage naturel constitué par le site du Saut du Doubs, nous rencontrons, de l'amont vers l'aval, les barrages du Chatelot, du Refrain, de la Goule, du Theusseret, de Vaufrey, de Grosbois (centrale hydroélectrique de Liebvillers - Grosbois). La pente moyenne est de 6,5 m au kilomètre jusqu'au Theusseret, puis de 2 m au kilomètre à l'aval. Le Doubs ne reçoit pas dans ce tronçon d'affluent majeur, avant d'arriver à St-Hippolyte, où il reçoit le Dessoubre, petite rivière qui coule dans des gorges calcaires et qui arrive à son confluent avec un débit de 12 m3/s.

3°) Le cours inférieur, va de St-Hippolyte à Verdun-sur-le-Doubs, où la rivière se jette dans la Saône à la cote 172. La vallée s'élargit en aval du confluent avec le Dessoubre. Dès lors le Doubs coule au milieu d'une importante plaine alluviale, qui contient une nappe ; cette zone est fortement peuplée, ce qui interdit la création de toute retenue importante. De plus, la rivière coule parallèlement à l'actuel canal du Rhône au Rhin, sur un tracé que suit également le canal à grand gabarit projeté entre le confluent du Doubs et de l'Allan et Dôle. La pente moyenne est de 1,5 m au kilomètre jusqu'à Voujeaucourt, où le Doubs reçoit l'Allan, qui lui apporte les eaux de la partie Nord-Est du bassin, du Mont Terrible au Ballon d'Alsace. A l'aval de ce confluent, la pente moyenne est seulement de 0,6 m au kilomètre. Enfin le Doubs reçoit à Baume-les-Dames le Cusancin, petit affluent qui draine une région essentiellement calcaire. Et, à l'aval de Dôle, il reçoit les eaux de la Loue. Cet affluent, le plus important de tous, a un débit de 9,5 m3/s à Mouthier, 20 m3/s à Vuillafans, 45 m3/s à Chenecey, et plus de 50 m3/s à Parcey, en amont du confluent. Le Doubs reçoit donc en ce point une quantité d'eau supérieure à la moitié de son débit, et récupère, noyé dans cette masse, ce qu'il avait perdu dans la région de Pontarlier.

Le phénomène des pertes du Doubs au bénéfice de la Loue est extrêmement important. Si cela n'a qu'une influence négligeable sur les débits du cours inférieur du Doubs et de la Loue, cela a une importance primordiale sur les débits de leur cours supérieur. Il suffit pour s'en convaincre de lire le récit que fait E. FOURNIER (1913) des luttes d'intérêt qui opposèrent, au début du siècle, les usiniers du Doubs et ceux de la Loue. Dès que l'on commença à connaitre l'existence de ces pertes, il fut question de les obstruer. Après l'expérience de Gresset, en 1873, faite avec du sel dans de mauvaises

conditions, E. FOURNIER arrivait en 1898 à la conclusion que les pertes du Doubs alimentaient la source de la Loue. Mais il fallut l'incendie des usines Pernod de Pontarlier, en août 1901, et une coloration à la fluorescéine en août 1910 pour prouver la réalité de ces pertes.

La méthode qui sera décrite plus loin a permis de préciser quantitativement le phénomène.

B - CLIMATOLOGIE

Il tombe en moyenne 1.000 à 1.100 mm de pluie par an sur la partie inférieure du cours du Doubs et de la Loue. Il tombe au contraire 1.400 mm d'eau par an sur la partie supérieure du bassin et à proximité de la source de la Loue. Ces chiffres correspondent à la répartition moyenne des précipitations de 1946 à 1953 (R. BAILLAUX, 1954). Cela signifie que la pluviométrie diminue d'un tiers de sa valeur environ quand on se dirige de l'amont du bassin vers l'aval.

Il est bien évident qu'une partie de cette hauteur d'eau tombe sous forme de neige : cela représente une fraction d'autant plus importante que l'on se trouve dans les parties élevées du bassin.

La température moyenne à l'observatoire de Besançon est de 10, 11°C (période de 70 ans), pour une altitude de 311 m. A la station météorologique des Eaux et Forêts de Jougne, à 1.000 m d'altitude, c'est à dire dans un point haut du bassin du Doubs, cette température moyenne est voisine de 8°C. On peut considérer ces deux chiffres de température comme les moyennes extrêmes enregistrables sur le bassin.

Dès lors, on peut passer au calcul de l'évapotranspiration réelle. La formule de L. TURC pour ce calcul est la suivante :

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0,9 + P^2/L^2}}$$

Er = évapotranspiration réelle annuelle en mm
P = hauteur de précipitation annuelle en mm
L = $300 + 25\ T + 0,05\ T^3$
T = température moyenne annuelle en °C.

Si l'on prend pour valeurs extrêmes de P 1.500 et 1.000 mm, et pour valeurs extrêmes de T 8 et 10°C, on obtient les résultats suivants :

l'évapotranspiration réelle selon la formule de L. TURC varie de 498 mm à 521 mm, suivant que l'on se trouve dans la partie aval ou dans la partie amont du bassin du Doubs. Ces variations semblent être infimes, les deux valeurs extrêmes étant proches de la valeur de 512 mm trouvée par J.J. COLLIN, M. DREYFUSS et G. LIENHARDT (1964) pour la localité de Besain, au Nord-Est de Lons-le-Saunier.

Cela signifie que, près de la source du Doubs, les deux tiers des précipitations s'écoulent ou s'infiltrent (soit 1.000 mm) alors que, sur le cours inférieur du Doubs, la moitié des précipitations seulement n'est pas évaporée (soit 500 mm environ).

Il en résulte que le débit spécifique (nombre de m3 ou de litres par seconde et par km2 de bassin versant) varie selon le lieu considéré, et ne peut constituer en aucun cas une constante caractéristique de l'écoulement dans la région. D'après les chiffres établis ci-dessus, le débit spécifique serait de 31,71 l/s/km2 dans la partie amont du bassin, et de 15,85 l/s/km2 seulement dans la partie aval.

R. COLLE (1949) déduit le déficit d'écoulement du débit spécifique du cours supérieur et moyen du Doubs. Pour cela, il convertit la hauteur d'eau représentative des précipitations en unités de volume par seconde et par km2. Il estime à 60 % la proportion d'eau des précipitations qui n'est pas évaporée (coefficient d'écoulement moyen), ce qui est un résultat assez voisin de celui qui a été obtenu ici à partir des précipitations et de l'évapotranspiration calculée par la formule de L. TURC.

R. COLLE, qui envisage la région située à l'amont d'Ocourt, effectue une corrélation qui tient compte des pertes du Doubs, située à l'amont.

M. GENESTIER (1962), donne, pour la station de Fraisans (partie inférieure du cours du Doubs), un coefficient d'écoulement de 54 %.

Le coefficient d'écoulement diminue de l'amont du bassin versant, où il a une valeur de 65 % environ, à l'aval, où il est de 50 % seulement. Ce fait est dû à la diminution de la pluviométrie de 1.500 à 1.000 mm, alors que l'évaporation reste sensiblement constante.

Ces quelques remarques sont fondamentales pour la relation des débits moyens avec les surfaces correspondantes des bassins versants.

C - ETUDE DES CRUES ET DES ETIAGES

1°) Les crues

Les périodes de réchauffement hivernal, amenant des chutes de pluie douce, provoquent la fonte prématurée de la neige : alors se produisent les crues les plus importantes.

A la fin de l'hiver, la fonte des neiges provoque également de très grosses crues.

Enfin, les précipitations provoquent des crues très fréquentes, mais qui sont aussi moins importantes.

En période de crue, l'augmentation de débit est considérable : à Pontarlier par exemple, où le débit moyen est de 7,8 m3/s, les crues provoquent des maxima instantanés qui dépassent couramment 70 m3/s, soit plus de 10 fois la valeur du débit moyen (81 m3/s le 12 décembre 1961, 105 m3/s le 13 janvier 1962, 77 m3/s le 9 juin 1963). A Rochefort, où le débit moyen est de 88 m3/s, les maxima instantanés dépassent 600 m3/s, soit plus de 7 fois la valeur du débit moyen (853 m3/s le 4 février 1961, 950 m3/s le 15 janvier 1962, 659 m3/s le 18 novembre 1963).

On peut tirer de ces chiffres deux constatations :

1 - les crues sont proportionnellement moins importantes à l'aval qu'à l'amont

2 - les débits de crue ont des valeurs considérables, ce qui rend un écrêtage très difficile à envisager.

Les crues ont une progression très rapide (à Labergement, c'est à dire près de la source du Doubs, les maxima de crue se produisent en général un jour avant de se produire à Rochefort, station de jaugeage la plus à l'aval ; il y a seulement de 2 à 8 heures de décalage entre les débits de crue de Voujeaucourt et ceux de Besançon, à 92 km de distance). Il y a à cela deux raisons principales : la pente forte du lit du Doubs et de ses affluents, la nature géologique du bassin, qui est essentiellement calcaire.

En pays calcaire, outre les phénomènes brusques tels qu'amorçage et désamorçage de siphons (on passe instantanément d'un débit nul à un débit relativement important), la nature de la roche ne provoque aucune régularisation : l'eau s'écoule à la surface du calcaire ou dans ses fissures, avec un minimum de frottements et sans rétention capillaire et il n'y a de ce fait aucun ralentissement de la vitesse.

Une analyse des eaux, citée par R. COLLE (1949), donne les résultats suivants : pH 7 ; alcalinité 121 ; Cl 3 ; SO_3 2,8 ; CaO 120 ; MnO 3,1 (Service d'essais et de contrôle permanent de la Société Hydrotechnique de France).

Des mesures de débit solide ont été effectuées à Fraisans par M. GENESTIER (1962). Les résultats extrêmes qu'il obtient sont les suivants :

1 - 13 décembre 1961 : pour un débit de 517 m3/s, il estime les transports en solution à 108 kg/s et les transports en suspension à ,82 kg/s.

2 - 25 août 1962 : pour un débit de 8 m3/s, il évalue les transports en solution à 1,5 kg/s et les transports en suspension à 0,35 kg/s.

Il n'a pas effectué de mesures de transport sur le fond.

Les transports en solution ne sont dangereux que lorsqu'il risque d'y avoir précipitation des substances dissoutes, et en particulier du calcaire, ce qui se produit par exemple dans les conduites où la vitesse de l'eau est insuffisante.

La connaissance des transports en suspension et sur le fond s'avèrerait nécessaire pour évaluer la vitesse d'engravement des retenues, par exemple grâce aux méthodes décrites par J. FRANCISCHI (1963).

E - METHODE D'ETUDE DES DEBITS PAR CORRELATION

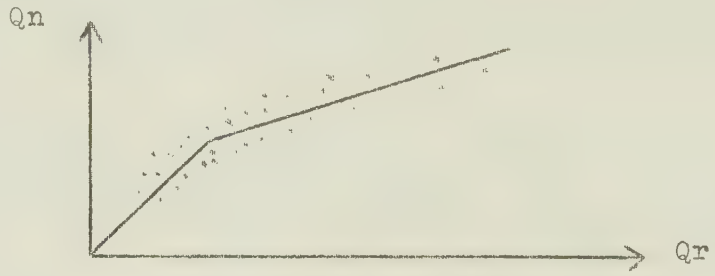
La question des pertes du Doubs et du Drugeon au bénéfice de la Loue est très importante. Le débit de ces pertes n'a jamais pu être chiffré avec exactitude : seules des estimations ont été faites. E. FOURNIER (1913) propose les chiffres de 0,17 à 0,2 m3/s pour les débits de pertes en période d'étiage, lorsque le Doubs débite moins de 1 m3/s. Si l'on connaissait exactement l'importance du phénomène, cela permettrait de prévoir l'effet d'un colmatage systématique des zones de pertes, ou l'effet d'un barrage de retenue situé à l'amont de Pontarlier.

Une méthode a été mise au point pour permettre de mesurer la quantité d'eau du Doubs que reçoit la Loue. Le point de départ de cette méthode a été donné par M. DREYFUSS (1963). On compare les débits de deux stations de jaugeage différentes : l'une a des débits dont les valeurs sont "neutres" et étrangères au phénomène à étudier ; l'autre est au contraire complètement influencée par ce phénomène. Ces deux stations doivent se trouver dans la même région, c'est à dire être soumises aux mêmes

conditions climatiques. Cette étude est inséparable de la détermination exacte de la surface des bassins versants (1).

On trace un graphique à échelle de coordonnées arithmétique. En abscisses, on place les débits mensuels de la station de jaugeage de référence (station étrangère au phénomène), et en ordonnées, on place les débits mensuels de la station à étudier. On obtient des résultats semblables en utilisant les débits journaliers, mais la dispersion des valeurs est beaucoup plus grande, et il y a une erreur due au décalage horaire que provoque le temps de propagation des eaux entre les deux stations. On ne peut pas utiliser les débits annuels à cause de la trop faible dispersion. Les débits mensuels s'avèrent à l'expérience les plus intéressants.

Chaque mois donne lieu sur le graphique à un point, de telle sorte que l'on obtient un nuage de points. On s'aperçoit alors que la courbe représentative de cette corrélation est arquée dans un sens bien net :

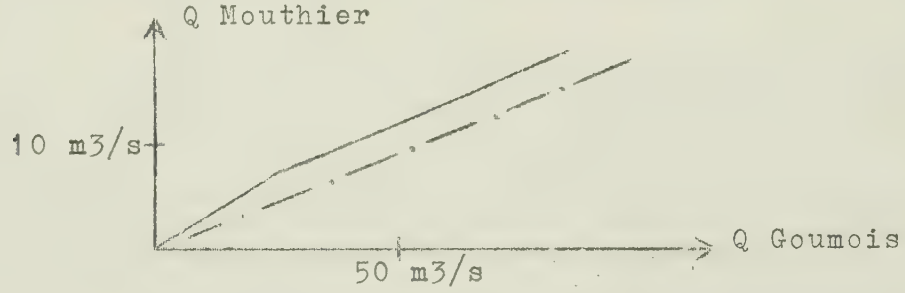


Cela implique une différence dans les conditions d'écoulement des eaux en période d'étiage et en période de hautes eaux. En effet, les zones de localisation de ces deux saisons se répartissent ainsi :

(1) On trouvera un résumé des résultats obtenus dans M. DREYFUSS et J.P. VANÇON (1965) et le détail de toute la méthode dans J.P. VANÇON (1965).

Or, théoriquement, la valeur des débits devrait être proportionnelle à la surface du bassin versant de chaque station de jaugeage, en admettant que les précipitations et l'évaporation se répartissent de façon homogène sur toute la surface. La courbe représentative du nuage de points devrait donc être une droite, dont la pente tg α est égale au rapport des surfaces des deux stations, soit :

Prenons le cas précis des pertes du Doubs. La station de référence, étrangère au phénomène, est celle de Goumois. La station étudiée est celle de Mouthier, qui donne les débits à la résurgence de la Loue. La comparaison entre la courbe réelle, obtenue expérimentalement, et la droite théorique définie par le rapport des surfaces, apparait très nettement :



Les surfaces utilisées pour la droite théorique sont des surfaces topographiques qui ne tiennent pas compte du phénomène des pertes : 230 km2 à Mouthier, 1.100 km2 à Goumois, soit une pente de 0,209.

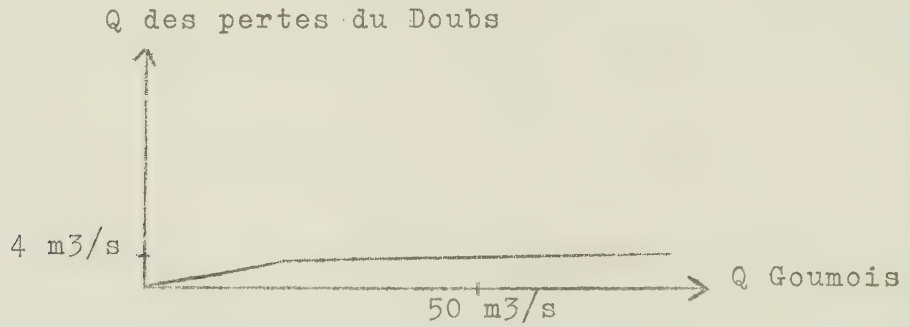
On est donc en présence de deux périodes nettement distinctes. En basses eaux, les débits de Mouthier croissent très fortement, beaucoup plus que ne le laisse présager la surface de son bassin propre. En hautes eaux, les débits augmentent au contraire sensiblement d'une façon que l'on pourrait prévoir, connaissant le rapport des surfaces : la courbe devient alors à peu près parallèle à la droite théorique.

La signification de ce phénomène est la suivante.

En basses eaux, la Loue reçoit une fraction très importante du débit du Doubs, et la quantité d'eau qui s'écoule à la résurgence s'accroit alors sans limitation. A partir d'un certain débit à Mouthier (9 m3/s environ, correspondant à un débit de 20 à 25 m3/s à Goumois), le débit total de la résurgence augmente parallèlement au débit propre de la Loue, ce qui revient à dire que le débit des pertes n'augmente pratiquement plus.

En effet, en basses eaux, les débits du Doubs se perdent librement dans les fissures des calcaires portlandiens : on a alors, à travers les galeries un écoulement en canal, c'est à dire avec une surface d'eau libre. En hautes eaux, les galeries sont, en certains points, entièrement remplies, et l'on est en présence d'un écoulement au moins local en conduite forcée. La section d'écoulement est alors maxima, et le débit est lié à la perte de charge intervenant entre la perte et la résurgence.

On peut ainsi facilement faire un graphique de corrélation des débits de pertes avec les débits de Goumois. On obtient alors la figure suivante ;



Ainsi, en période d'étiage, les pertes du Doubs ne se chiffrent pas à plus de 4 m3/s. En eaux moyennes, les débits des pertes sont de 4 à 5 m3/s. Les débits de 6 ou 7 m3/s ne sont dépassés qu'en période de très grosse crue. Ainsi, laisser les pertes dans l'état où elles se trouvent actuellement, fait perdre de façon naturelle au Doubs un débit n'excédant pas 7 m3/s. Par contre, obstruer les pertes ferait diminuer d'autant le débit de la Loue ; cette obstruction aurait une faible incidence sur la Loue en période de crue, mais diminuerait considérablement ses étiages. En tout état de cause, il n'est pas question de colmater les pertes individuellement, ce travail risquant de ne pas être complet et de se dégrader peu à peu. La seule solution (signalée par E. FOURNIER) consiste à canaliser le débit que l'on veut garder dans le Doubs, mais cela représente une entreprise onéreuse.

Il existe une autre façon d'envisager le problème. Si l'on étudie une corrélation de débits entre deux stations en

utilisant une échelle de coordonnées bilogarithmiques, le nuage de points obtenu s'aligne, dans tous les cas rencontrés. dans le bassin du Doubs. La courbe représentative est une droite.

Cela revient à assimiler la courbe dont nous venons de discuter la signification à une parabole, définie par la relation mathématique suivante :

$$Qn = a \cdot Qr^b$$

qui peut s'écrire également sous la forme linéaire :

$$\log Qn = \log a + b \log Qr$$

Cette deuxième formule permet d'effectuer un calcul statistique, pour définir avec précision la valeur des paramètres a et b.

La méthode utilisée est celle que décrit M. LAMOTTE (1948). Pour en obtenir plus de précision, nous avons effectué une adaptation qui consiste en deux opérations.

1 - d'une part transformer en "logarithmes entièrement négatifs" les logarithmes ayant une caractéristique négative et une mantisse positive, afin de pouvoir les utiliser à la machine à calculer.

2 - d'autre part ne pas utiliser des classes de valeurs, à l'intérieur desquelles tous les points ont arbitrairement une valeur moyenne, mais prendre directement leurs valeurs elles-mêmes, sans les grouper.

On sait que le coefficient de corrélation r, obtenu par cette méthode, indique le bien-fondé de la relation. Si r est nul, il n'y a pas de corrélation. Si r est égal à + 1 ou - 1, la relation est parfaite. Plus r est proche de la valeur 1, plus la corrélation est bonne.

La station de Mouthier a été choisie comme station de référence pour ce calcul. Les résultats suivants ont été obtenus:

Station de jaugeage	Rivière	r	a	b	Nombre de mois
Labergement	Doubs	0,920	0,250	1,216	48(4 ans)
Pontarlier	"	0,944	0,515	1,162	72
Sortie du Lac des Brenets	"	0,978	0,793	1,336	72
Combe des Sarrasins	"	0,967	1,353	1,239	72
Refrain	"	0,957	1,115	1,326	72
Goumois	"	0,956	2,133	1,099	72
Ocourt	"	0,964	2,134	1,154	72
Liebvillers-Grosbois	"	0,966	2,070	1,173	72
Dampjoux	"	0,967	2,756	1,219	72
Rochefort	"	0,956	5,729	1,175	48
Mouthier	Loue	1	1	1	72 et 48
Mouthier-aval	"	0,974	1,493	1,018	72
Vuillafans	"	0,979	1,602	1,092	72
Chenecey	"	0,959	2,236	1,281	72
St-Hippolyte	Dessoubre	0,916	0,657	1,231	72

Entre les trois rivières, la corrélation est très bonne, puisque r est minimum pour Mouthier- St-Hippolyte, avec la valeur très acceptable de 0,916.

Le coefficient a augmente progressivement avec la surface de bassin de chaque station, selon une relation linéaire de la forme :

$$a = k \cdot S$$

Cette relation est indépendante de la rivière, qu'il s'agisse du Doubs, du Dessoubre ou de la Loue, c'est à dire qu'en graphique, tous les points obtenus pour la région sont situés à proximité d'une seule droite représentative (1).

Quant au coefficient b, ses variations sont facilement explicables. Le renforcement des étiages et la diminution

(1) Cette relation ne doit toutefois pas être généralisée à n'importe quel bassin : ainsi le Haut Danube ne répond pas à cette loi.

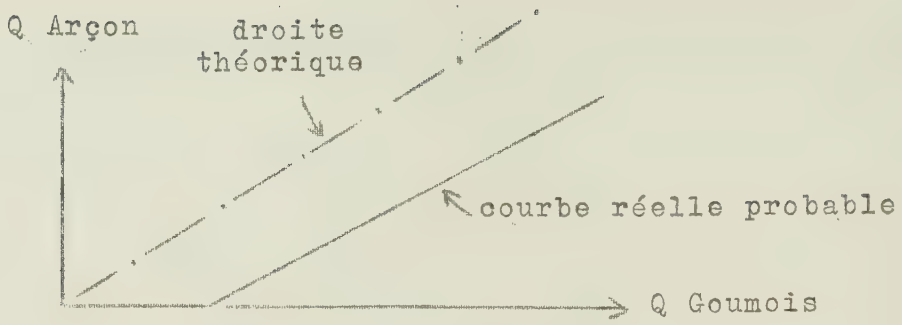
ou la limitation des crues déforment la courbe de corrélation dans un sens tel que l'exposant de la parabole (qui donne une image de la courbe) diminue :

La diminution des débits d'étiage et l'augmentation des hauts débits déforment la courbe de corrélation en sens inverse: l'exposant de la parabole augmente.

Cela explique les valeurs de b rencontrées. A Mouthier, l'exposant a une faible valeur, l'influence de la résurgence alimentée par les pertes se faisant pleinement sentir. Puis progressivement, lorsqu'on se dirige vers Chenecey, cette action est de plus en plus minime et b augmente. Par le phénomène inverse, à l'aval des pertes, l'exposant a une forte valeur (Sortie du lac des Brenets, Combe des Sarrasins, Refrain). Et toutes les valeurs de b s'expliquent de la même façon, en fonction des phénomènes qui perturbent les débits.

Une station de jaugeage à Arçon ou Maison-du-Bois, immédiatement en aval des pertes du Doubs, permettrait un certain nombre d'observations du plus haut intérêt. On y obtiendrait une parabole dont l'exposant b aurait une valeur énorme : dans le cas semblable des pertes du Danube, b atteint la valeur de 2,5 et même 2,7. De plus une telle station permettrait de déterminer de façon très rigoureuse le débit des pertes. Sur le Danube, les résultats donnés par la station de la résurgence et par la station à l'aval des pertes étaient très voisins. Une station de jaugeage à Arçon permettrait donc de confirmer les résultats obtenus grâce à la station de Mouthier.

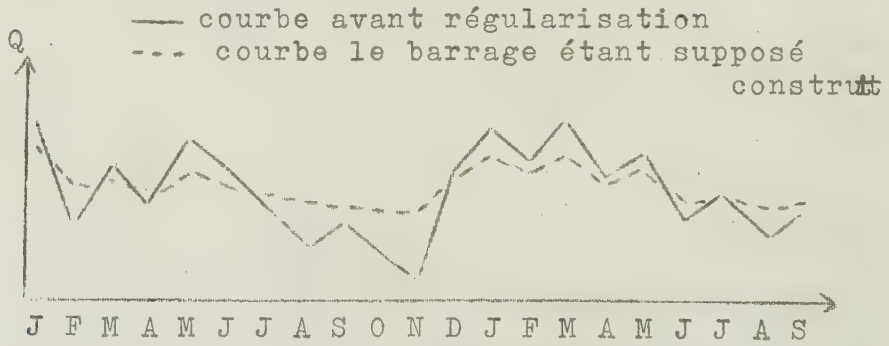
Aux pertes du Doubs, on obtiendrait en effet un graphique de corrélation des débits ayant cette allure :



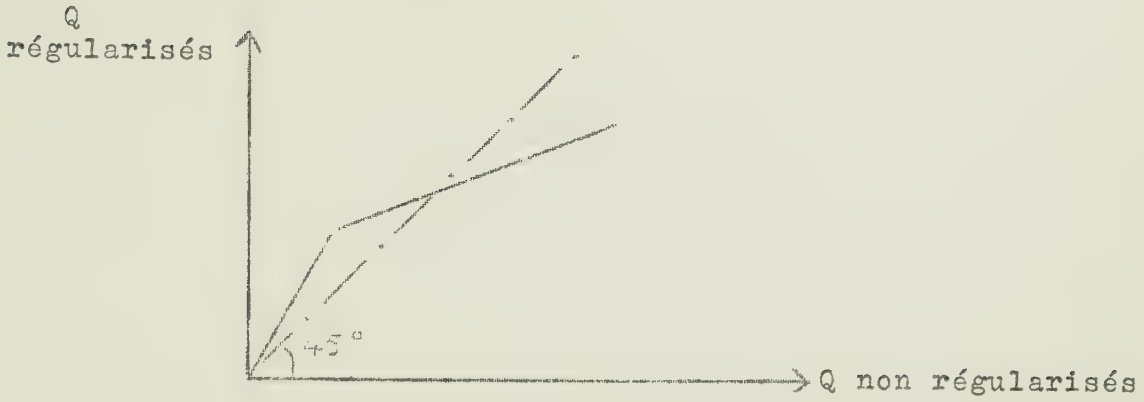
La pente de la droite théorique est obtenue par le rapport des surfaces qui ne tiennent pas compte du phénomène. Les différences de débit entre cette droite théorique et la courbe réelle donneraient le débit des pertes de la même façon que pour le cas de la résurgence à Mouthier. On pourrait alors superposer sur le même graphique les deux courbes de corrélation débits des pertes - débits de Goumois obtenues. Cela confirmerait probablement les résultats déjà obtenus avec Mouthier seul.

Les courbes de corrélation des débits peuvent présenter un autre intérêt.

Un des sites de barrages retenus se trouve à Chenecey, sur la Loue, où existe une station de jaugeage. Un autre est situé à St-Hippolyte, sur le Dessoubre, où il y a également une station. Faisons un graphique, en portant, dans l'ordre chronologique, les débits mensuels en ordonnées et les mois en abscisses. Connaissant le volume de la retenue à créer(16.000.000 m3 à St-Hippolyte, 15 ou 50.000.000 m3 à Chenecey), on trace sur le même graphique la courbe des débits régularisés, le barrage étant supposé construit.



Ce premier dessin est par lui-même très intéressant. Mais, à partir des débits "rectifiés", on peut effectuer un graphique de corrélation des débits. On porte en abscisses les débits mensuels non régularisés, et en ordonnées les débits après régularisation. Les différences entre les deux courbes du premier graphique se retrouvent dans le second, sous forme de la différence entre la courbe ainsi obtenue et une droite à 45°.



On pourrait employer la même méthode en ce qui concerne les pertes du Doubs. On compare ainsi avec une droite à 45° la corrélation des débits avant et après obstruction des pertes, et cela aussi bien sur la Loue que sur le Doubs.

II - CONDITIONS D'EDIFICATION DE BARRAGES DE RETENUE

---------oOo---------

Après avoir étudié les conditions hydrologiques du département du Doubs, nous allons examiner le problème de l'inventaire des sites de barrages dans son ensemble. Les emplacements retenus seront ensuite décrits successivement.

A - CARACTERES GENERAUX DES BARRAGES PROJETES

Pour la production d'énergie hydroélectrique, l'E.D.F. recherche des hauteurs de chute aussi grandes que possible. Le volume de la retenue a une importance secondaire, d'autant plus que la prise d'eau est placée à la partie supérieure du barrage. Cela fait que le volume d'eau retenu varie peu et garde une valeur toujours proche du maximum.

Au contraire, les retenues dont il sera question ici apparaitront d'autant plus avantageuses qu'elles auront un grand volume d'eau accumulable ; la hauteur de chute n'entre pas en ligne de compte : la prise d'eau doit être en principe située le plus bas possible, de façon à utiliser la fraction la plus grande possible du volume total. Il serait préférable qu'il reste peu d'eau derrière le barrage à l'arrivée des crues, et que le lac artificiel soit plein au début de la période d'étiage.

Ainsi, les impératifs d'exploitation des barrages hydroélectriques et de ceux destinés à la régularisation, l'irrigation ou l'alimentation en eau sont complètement différents : nous négligerons systématiquement la question de la production hydroélectrique.

B - ROLE ET OPPORTUNITE DE BARRAGES DE RETENUE DANS LE DEPARTEMENT DU DOUBS

Il y a deux catégories d'utilisations à envisager en ce qui concerne les barrages de retenue, mise à part l'hydroélectricité.

1°) La régularisation des débits

Elle est souhaitable dans plusieurs cas :

a) Renforcement des étiages

1 - L'augmentation du débit d'étiage de façon à permettre aux industries qui fonctionnent au fil de l'eau de poursuivre leur activité plus longtemps et plus intensément en période sèche.

Ainsi, un barrage créé à l'amont de Chenecey, sur la Loue, donnerait plus d'importance à l'aménagement hydroélectrique de l'aval. En effet, l'E.D.F. projette de percer un tunnel qui prendrait une fraction des eaux de la Loue pour la rejeter dans le Doubs, avec une chute de 45 m à Vorges-les-Pins. Cette usine ne fonctionnerait pas en période d'étiage, de façon à laisser à la Loue un débit minimum de 4 m3/s à l'aval. De plus, à cet endroit, la ville de Besançon installe actuellement une prise d'eau pour assurer le ravitaillement de sa population par 30.000 m3/jour soit environ 0,35 m3/s. Le débit caractéristique d'étiage de 4 m3/s étant notablement renforcé, l'usine hydroélectrique pourrait fonctionner plus longtemps, tout en laissant un débit égal ou même plus fort à l'aval.

2 - Le renforcement des étiages est souhaitable, si une nappe aquifère, pompée pour l'alimentation en eau, est tributaire du débit de la rivière en basses eaux.

3 - Si des pertes assèchent complètement une rivière en certains points, un renforcement des étiages augmentera le débit des pertes, mais empêchera peut être ce cours d'eau d'être à sec. C'est le cas du cours supérieur du Doubs : la surélévation du lac de Remoray profiterait surtout au débit de la Loue en basses eaux sans supprimer forcément l'assèchement du Doubs entre Arçon et Maison-du-Bois.

4 - Il s'y ajoute des raisons piscicoles, le poisson ne pouvant survivre dans une rivière à l'écoulement trop faible, ou plus simplement contenant un fort pourcentage d'eaux usées qu'il serait bon de diluer.

5 - Le tourisme peut aussi entrer en ligne de compte. C'est le cas, par exemple, du Saut du Doubs qui s'assèche en période d'étiage et perd ainsi une grande partie de son attrait : son aménagement permettrait de porter remède à cet inconvénient.

b) Ecrêtement des crues

La lutte contre les crues est beaucoup plus difficile à conduire à l'aide de barrages de retenue en raison de l'importance des volumes nécessaires.

Une remarque doit toutefois être faite à ce propos : le tunnel Loue - Doubs de Chenecey - Vorges est équipé pour laisser passer 88 m3/s du débit de la Loue. On écrêterait ainsi les crues de cette rivière de près d'un tiers, les très hauts débits étant voisins de 300 à 400 m3/s : une telle méthode serait à préconiser chaque fois que la possibilité s'en présenterait.

2°) Les autres utilisations

Elles sont très diverses, mais possèdent comme caractéristique commune de ne pas coïncider dans le temps avec les périodes de crue ou d'étiage.

Ce sont :

1 - L'irrigation, nécessaire dans nos régions durant les mois de juin, juillet et août. Les étiages, s'ils commencent en juin, sont importants à partir d'août et jusqu'à octobre et novembre. Si l'on prélevait une quantité d'eau importante pour l'irrigation, il ne resterait plus rien pour lutter ensuite contre les étiages, au moment où ils sont maximum.

2 - Il existe actuellement un projet de transformation de l'actuel canal du Rhône au Rhin en un canal à grand gabarit. Les besoins en eau seraient échelonnés sur toute l'année, et nécessiteraient la création de réserves à l'amont de la zone urbaine Belfort - Montbéliard, soit sur le versant vosgien, soit sur le versant jurassien : la retenue de 16.000.000 m3 de St-Hippolyte, sur le Dessoubre, pourrait être utilisée dans ce but: à l'aval, dès que l'on atteint un certain débit, l'alimentation du canal peut se faire par pompage.

3 - Les besoins industriels sont eux aussi permanents.

4 - L'alimentation en eau humaine grâce à des retenues, à laquelle on ne s'adresse qu'en l'absence d'autre solution, est peu importante en soi, mais le devient relativement en période d'étiage, du fait que le prélèvement est pratiquement le même durant toute l'année.

C - DONNEES GENERALES SUR L'EXPLOITATION DE CES BARRAGES

Un barrage de régularisation sert surtout au renforcement des étiages, mais peut être également utilisé, dans une certaine mesure, pour l'atténuation des crues.

Si la retenue est vide à l'arrivée d'une crue, on peut ne restituer à l'aval qu'une fraction du débit qui arrive à l'amont, le reste de l'eau s'accumulant peu à peu derrière le

barrage. Dans la mesure où l'on a pu prévoir, grâce à une étude statistique des crues précédentes, la durée probable de la crue dès son début, on aura pu en diminuer les effets.

De même, si la retenue est remplie au début d'une période d'étiage, on peut restituer à l'aval un débit beaucoup plus important que le débit naturel. Dans la mesure où l'on sait prévoir la durée probable de la période de basses eaux, on pourra renforcer les étiages jusqu'à la fin de la saison sèche.

Une formule très simple, accompagnée d'un abaque, permet de déduire, en supposant connue la durée de la période d'étiage ou de crue, le débit moyen à ajouter ou à retrancher au débit naturel de façon à atténuer les hauts débits et à augmenter ceux qui sont trop faibles.

Soit Q = débit à ajouter au débit naturel d'étiage, ou à retrancher au débit naturel de crue.

V = volume disponible dans la retenue à l'arrivée de l'étiage ou disponible dans la retenue à l'arrivée de la crue.

t = nombre de jours où l'on se propose de renforcer l'étiage ou d'atténuer la crue.

86.400 = nombre de secondes par jour.

La relation qui lie ces trois variables est la suivante :

$$Q = \frac{V}{86.400\ t}$$

C'est à la fois la formule d'atténuation des crues et de renforcement des étiages. L'abaque qui correspond à cette relation, figuré sur la planche II, est constitué par une série de droites, chacune correspondant à une valeur particulière de V (de 100.000 à 100.000.000 m3). L'emploi d'une échelle de coordonnées bilogarithmique permet d'obtenir cette représentation linéaire. Un graphique à échelle arithmétique serait figuré par une série d'hyperboles équilatères, comme le laisse prévoir la formule.

En abscisses sont portés les logarithmes de t, et en ordonnées les logarithmes de Q.

Prenons deux exemples.

1 - Une crue arrive au barrage de St-Hippolyte, étudié plus loin, (16.000.000 m3). Il n'y a alors dans la retenue que 6.000.000 m3, ce qui laisse un volume disponible de 10.000.000m3.

On emploiera donc la droite marquée 10.000.000 m3, puisque seul le volume utilisable compte. Il est prévu que la crue durera environ 10 jours. Cela correspond à Q = 11,6 m3/s. On pourra donc laisser le barrage se remplir au rythme de 11,6 m3/s, si bien que la crue sera diminuée en moyenne d'autant à l'aval. Quand on sait que chaque année, à St-Hippolyte, le débit de 80 m3/s est dépassé pendant un ou plusieurs jours, on s'aperçoit que les crues y seraient diminuées de 1/4 dans les cas les plus favorables, de 1/10 seulement ou même moins généralement.

2 - Envisageons la sécheresse de 1962 au barrage de St-Hippolyte, en imaginant qu'il était construit à cette époque. Supposons maintenant que la retenue ait été pleine à ce moment : soit V = 16.000.000 m3. La période d'étiage a duré environ 5 mois, soit 150 jours. Le débit moyen y était alors de 2 m3/s environ. Dès lors Q aurait été, si le barrage avait été construit, de 1,2 m3/s environ durant cette période, ce qui aurait fait passer le débit de 2 m3/s à plus de 3 m3/s, soit une augmentation de 1/2. Or rappelons qu'il s'agissait là du cas le plus défavorable, puisque la sécheresse de 1962 fut la plus longue et la plus accentuée enregistrée dans la région depuis l'installation des stations de jaugeage.

Aussi convient-il de tirer de ces deux exemples une notion pratique très importante. On peut estiner à des valeurs relatives de 50 à 500 % le renforcement des étiages, alors que les crues ne sont atténuées que de 10 à 25 %, pour l'exemple de St-Hippolyte que nous avons choisi. Ce qui justifie la phrase de M. COQUAND (1951) "il est rare, on le sait, que l'aménagement d'un réservoir avec le seul objectif de l'atténuation des crues soit rentable".

Bien entendu, l'édification d'un barrage visant au renforcement des étiages, permettra également d'écrêter légèrement les crues, en fonction de la façon dont il sera exploité.

La formule que nous venons d'employer est également valable dans le cas d'une utilisation de l'eau de la retenue à une toute autre fin. Q représente alors le débit utilisable sans modifier le débit naturel de la rivière. Des prélèvements complémentaires au détriment de celui-ci restent toutefois possibles.

D - POSSIBILITES OFFERTES PAR LES VALLEES DE LA REGION

Durant cet inventaire, il sera nécessaire de ne pas perdre de vue qu'il faut :

- créer des retenues au volume maximum.

- noyer le moins possible d'habitations et installations diverses ; ne pas détruire les sites touristiques importants.

- édifier des barrages aussi peu onéreux que possible.

- créer des retenues qui soient convenablement alimentées.

- assurer l'étanchéité de la retenue et la stabilité de l'ouvrage envisagé, soit en le plaçant dans des conditions optima, soit en utilisant diverses techniques pour pallier les imperfections du site.

En partant de la source, le Doubs suit d'abord longitudinalement un synclinal crétacé, fortement peuplé, et toutes les localités sont installées pratiquement dans le fond de la vallée, bien qu'il soit possible d'assurer l'étanchéité de petits ouvrages avec les niveaux marneux du Crétacé inférieur.

Puis le Doubs s'engage dans les gorges calcaires du Four Perret, où se situe déjà un petit barrage à utilisation hydro électrique. Il serait possible d'établir un ouvrage de dimensions restreintes à l'entrée des gorges, de façon à créer une vaste retenue dans le synclinal crétacé. Mais les villages établis là, ainsi que la ligne de chemin de fer Frasne-Vallorbe, que l'on ne peut déplacer puisqu'elle s'engage là dans le tunnel du Mont-d'Or, interdisent une réalisation de ce genre.

A l'aval, le Doubs vient se jeter dans le lac de St-Point, après avoir reçu sur rive gauche l'exutoire de celui de Remoray. Un barrage a été établi à la sortie du lac de St-Point: il permet une surélévation de 3 m, ce qui équivaut à une réserve de 14.000.000 m3. Cela permet de maintenir à l'aval un certain débit.

De vastes projets ont été conçus dans le passé au sujet de ce secteur, notamment un fort relèvement du plan d'eau qui réunirait les deux lacs. Des raisons piscicoles et touristiques s'y opposent, mais surtout la ligne de chemin de fer Frasne-Vallorbe, qui passe entre les deux lacs, interdit toute surélévation du niveau de l'eau. Par contre, on peut toujours envisager un relèvement du lac de Remoray seul, par l'établissement d'une digue située en amont de la ligne de chemin de fer, ce qui produirait une réserve de 20.000.000 m3. Toutefois, cette édification serait rendue très difficile par un substratum formé de boues non consolidées. Nous étudierons néanmoins ce projet avec plus de détail.

La zone des pertes commence immédiatement à l'aval. Il n'est pas question d'y établir des retenues: elles ne se rempliraient pas en basses eaux, tout l'écoulement étant déri-

vé vers la Loue. En hautes eaux, il y aurait une légère augmentation des débits de la résurgence, due à l'augmentation de la perte de charge, par élévation du niveau de l'eau. De tels barrages ne feraient que renforcer les débits de la Loue, sans aucun bénéfice pour le Doubs.

A l'aval des pertes, la vallée du Doubs est empruntée par la RN 437 et par la voie du chemin de fer. La faible dénivellation entre les agglomérations successives (Ville-du-Pont, Remonot) ne permet pas de construire des barrages de quelque importance, ce qui rend la déviation de la nationale et du chemin de fer parfaitement prohibitive.

Puis, on entre dans le synclinal crétacé de Morteau, trop habité pour permettre la moindre retenue. Le Doubs se jette alors dans les Bassins (lac des Brenets) que retient le barrage naturel du Saut du Doubs. R. COLLE (1951-52) envisage de créer là une réserve, sans détruire le site touristique. Le seuil au dessus duquel s'écoulent les eaux est à la cote 749. Lorsque les apports de l'amont sont inférieurs à 1,5 m3/s (chiffre donné par R. COLLE), le lac continue à se vider par des pertes souterraines. En période de crue, le niveau des Bassins peut atteindre la cote 754,5, et toute la plaine de Villers-le-Lac à Morteau et la Grand-Combe-Chateleu est alors inondée. Pour éviter ces débordements et l'assèchement du site du Saut du Doubs, R.COLLE préconise à la fois d'approfondir le seuil, situé à l'aval des hôtels, et de placer là une vanne-toit, pratiquement invisible, de façon à écrêter les crues génératrices d'inondations, surtout en été lors de la récolte du fourrage, et à garder en même temps le plus d'eau possible dans les Bassins. Nous étudierons cette solution.

A l'aval, le Doubs entre dans des gorges calcaires, où sa pente y est assez forte. L'E.D.F. n'a pas manqué d'utiliser cet état de choses en créant une série de barrages à utilisation hydro-électrique. Ce sont, de l'amont vers l'aval, les barrages du Châtelot, du Refrain, de la Goule, du Theusseret (usine suisse), de Vaufrey, de Grosbois et de Dampjoux. L'utilisation dans ce secteur est pratiquement maxima, et il est douteux que l'on puisse y créer de nouvelles retenues. Le barrage de Dampjoux est le dernier que l'on trouve dans cette partie du cours du Doubs.

Plus loin, la vallée s'élargit, se recouvre de nombreuses agglomérations, et, à partir de Voujeaucourt, côtoie le canal du Rhône au Rhin actuel, qui doit être transformé en une voie à grand gabarit. Seules les vallées affluentes du cours inférieur du Doubs pourront être barrées, dans la mesure où elles ne seront pas trop peuplées tout en bénéficiant d'une alimentation suffisante. Mis à part peut-être le Cusancin, le Doubs ne reçoit dans cette zone que de maigres affluents.

Etudions maintenant les grands affluents du Doubs, le Drugeon, le Dessoubre, la Loue et le Lison, affluent de la Loue, qui tissent un réseau très inégalement réparti à travers les étendues calcaires du département.

Le Drugeon est une rivière à petit débit, qui traverse une zone de pertes alimentant la source de la Loue. De nombreux points absorbants ont été reconnus dans cette région, mais leur liste n'est sans doute pas limitée aux connaissances actuelles. C'est pourquoi il serait très aléatoire de tenter d'édifier là des retenues, d'autant plus que les dénivellations sont très faibles et que la vallée très large est parsemée de nombreuses localités.

Le Dessoubre est par contre très intéressant. A sa confluence avec le Doubs, à St-Hippolyte, il a un débit moyen de 12 m3/s. Il coule à travers des gorges calcaires peu habitées, et sa situation en amont de la zone Belfort-Montbéliard lui confère une grande importance. Il traverse tout d'abord le fond d'un ancien lac, qu'il serait possible de rétablir par une digue très modeste : nous étudierons cette éventualité. Après avoir traversé l'Oxfordien vertical, où l'on pourrait créer un vaste barrage que nous envisagerons dans cette étude, il coule à travers les couches calcaires du Jurassique supérieur d'un compartiment chevauché, puis il retraverse l'Oxfordien à Rosureux. C'est à ce niveau, en amont du village, que l'on peut créer une retenue de 400.000 m3, par une digue en terre de 10 m de haut. Cela constituerait un petit appoint au vaste projet aval qu'il est possible d'envisager. En effet, plus bas, le Dessoubre traverse les calcaires du Jurassique moyen, dans des gorges peu habitées. Immédiatement en amont de St-Hippolyte, on peut créer un important barrage à la faveur d'un anticlinal à coeur de marnes du Lias. C'est le projet de Neuf-Gouffre, permettant une retenue de 16.000.000 m3, par une digue de 35 m de haut. Ce barrage, déjà envisagé à des fins hydro-électriques, semble actuellement beaucoup plus intéressant au point de vue du renforcement des étiages du Doubs à l'Aval.

La Loue, à sa source, possède déjà, grâce aux pertes du Doubs, un débit moyen de 9,5 m3/s. Aussi, dès Mouthier, peut-on envisager de créer une petite retenue de 250.000 m3 sur les marnes du Lias immédiatement à l'amont du village. Entre la source et l'usine hydro électrique, on peut aussi envisager de créer une série de petits barrages dans les gorges de Nouailles. Ces retenues ne gêneraient en rien le fonctionnement de l'usine hydroélectrique, étant situées à l'aval de la prise d'eau construite à la source même. Plus bas, les localités se suivent de trop près pour qu'il soit possible d'établir la moindre retenue. Mais, entre Cléron et Chenecey, existe un long

parcours en gorges pratiquement inhabitées. Deux solutions pourraient être envisagées : un petit projet amont, consistant en un barrage de 15 m de haut déterminant une retenue de 12.000.000 m3 ; un vaste projet aval consistant en un barrage de 30 m de haut pour une retenue de 60.000.000 m3 (R.COLLE admettait même 60 à 80.000.000 m3 pour ce projet). Le petit barrage serait situé à hauteur du pont de Châtillon, et le grand immédiatement à l'amont des forges de Chenecey.

Plus en aval, la Loue entre dans une vaste plaine à forte densité de population, où il est impossible de créer des réserves notables.

Les deux projets envisagés à Chenecey, dont un seul peut être réalisé, à moins que l'on abaisse le barrage aval de 30 m à 15 m seulement, afin de ne pas noyer le barrage amont, trouvent un regain d'intérêt dans la ponction projetée de la Loue à l'aval pour l'alimentation en eau de Besançon ; ils amélioreraient le rendement de l'installation prévue par l'EDF en aval de Chenecey.

Le Lison, après la cuvette marneuse de Nans-sous-Ste-Anne, et un court passage en gorges dans les calcaires du Jurassique supérieur, s'engage dans une longue vallée étroite entre des falaises de Jurassique moyen. C'est là seulement que l'on peut envisager de créer une ou plusieurs retenues, à l'amont de Myon. L'étanchéité de cette zone calcaire semble assez aléatoire. De plus, le Lison a un débit assez faible par rapport à celui de la Loue dans cette région. C'est pourquoi nous n'étudierons pas en détail les possibilités de barrages qu'offre cette rivière, bien que ces réalisations ne semblent pas impossibles.

En résumé, plusieurs projets sont à retenir : les uns sont importants et intéressent l'économie de la région, les autres sont petits et leur attrait est très localisé. Ce sont :

1 - CHENECEY, sur la Loue : - projet aval (60.000.000 m3)
- projet amont (12.000.000 m3)

2 - NEUF-GOUFFRE (St-Hippolyte), sur le Dessoubre (16.000.000 m3)

3 - ROSUREUX, sur le Dessoubre : 400.000 m3
- projet de grand barrage de la Seierie Girardot

4 - MOUTHIER, sur la Loue : 250.000 m3
- série de barrages dans les Gorges de Nouailles

5 - CONSOLATION, sur le Dessoubre : 300.000 m3

6 - REMORAY (surélévation du lac) : 20.000.000 m3

7 - SAUT DU DOUBS (régularisation du débit au seuil des hôtels).

Ces sept projets et leurs variantes possibles ont été classés ici en fonction de l'importance de l'étude géologique qui en a été faite. C'est dans cet ordre que nous allons les étudier.

III - LES BARRAGES DE CHENECEY

--------oOo------

A - ETUDE GEOLOGIQUE

1°) Situation

Toute la partie Ouest des deux retenues qu'il est possible de créer a été levée au 1/25.000e. Ce secteur est entièrement situé sur les feuilles Quingey 3 et Quingey 7. Il est limité à l'Ouest par l'extrémité de ces deux cartes, au Sud par la localité de Myon et le secteur du Lison dirigé Est-Ouest, à l'Est par les villages de Lizine, Rurey et Granges-du-Sapin, au Nord approximativement par la limite de la carte Quingey 3.

2°) Stratigraphie

La région étudiée est assez limitée, ce qui a deux conséquences : la série stratigraphique est réduite puisqu'elle va du Toarcien à la base du Séquanien, sans compter les dépôts superficiels, et, d'autre part, il n'a guère été permis de suivre de bonnes coupes des formations de cette série.

1 - Toarcien l^5

Formé à sa base par des schistes bitumineux à Posidonomyes, et dans sa partie supérieure par des marnes grises renfermant de nombreuses "miches" calcaires, il constitue vraisemblablement les pentes des Touvières, au Nord de Chenecey, mais aucun affleurement net n'a pu être mis en évidence. A cet endroit, J.B.SIRI (1964) en a reconnu des affleurements réduits, ainsi qu'un peu de Charmouthien.

2 - Aalénien l^6

Le passage des marnes du Toarcien supérieur aux marnes de l'Aalénien inférieur peut très rarement être observé, faute d'affleurements. Sa limite a du être tracée approximativement.

Les marnes aaléniennes sont micacées. Un seul affleurement net en a été observé à proximité de la ferme en ruine, située à l'Est des Touvières. Elles sont surmontées par des formations de calcaires ferrugineux rouges fortement lités, en lits alternant avec des bancs de calcaire à entroques bruns, massifs. Cette dernière formation constitue le sommet de l'Aalénien : elle est visible sur une épaisseur de 1 m environ dans la tranchée de la D 110 qui joint la RN 83 à Chenecey.

Ces calcaires ferrugineux forment la première petite falaise qui domine les pentes marneuses du Lias.

3 - Bajocien inférieur J^{1a}

L'étage débute par des calcaires à entroques bruns, dans lesquels on rencontre aussi de nombreuses oolites : cette formation a 10 m d'épaisseur le long de la D 110, au dessus des affleurements d'Aalénien calcaire. Puis on passe, après 2 m de calcaires à entroques riches en Pectens, à des marnes à Bryozoaires, radioles d'oursins, Millericrinus et Pentacrinus (1,5 m). Puis on trouve une grande épaisseur de calcaires à entroques, contenant parfois des Pectens, interrompus parfois par des lits marneux de dimension centimétrique.

Viennent au dessus des calcaires marneux à chailles, disposés en bancs de 20 à 25 cm, et séparés par des lits de 5 à 20 cm de calcschistes. Cette formation, visible dans la même coupe de la D 110 en partie seulement, est surmontée par des calcaires à entroques et gravelles avec des passées oolitiques, et présentant de nombreuses stratifications entrecroisées (15 m). Ces calcaires ont été considérés comme formant le sommet du Bajocien inférieur.

On peut évaluer, à la suite de J.B. SIRI, à 90 m la puissance totale de ces formations.

4 - Bajocien supérieur J^{1b}

Il est essentiellement formé de calcaires oolitiques, renfermant encore quelques entroques à la base, ainsi que des débris de fossiles. Peu à peu, on passe à un calcaire ocre, contenant presque exclusivement des oolites, en bancs généralement peu épais, à stratifications entrecroisées. On passe, vers le sommet, à un calcaire plus blanc, contenant un assez fort pourcentage de gravelles. Près du sommet existe un niveau de calcaire marneux fossilifère, épais d'une quarantaine de centimètres, contenant de nombreux Brachiopodes et des Alectryonies, que l'on retrouve de façon assez constante aux environs de Chenecey. C'est sous ces calcaires marneux qu'a été trouvée, au Sud-Est de cette localité, une surface corrodée avec traces de rubéfaction et perforations de Pholades (x = 875,05;y=243,95).

Le passage des calcaires oolitiques aux calcaires compacts sublithographiques qui forment le Bathonien se fait insensiblement et, en l'absence de bonnes coupes, la limite est très difficile à préciser. Quant à la limite stratigraphique dans la région, elle est également douteuse, la dernière dizaine de mètres de la Grande Oolite appartenant peut-être au Bathonien (N. THEOBALD et J. BOURQUIN, 1957). Rappelons que ces deux auteurs ont déterminé une Parkinsonia parkinsoni SOW provenant de la zone de Chenecey-Charnay, et appartenant à la Grande Oolite.

On peut attribuer une puissance de 60 m à ces formations.

5 - Bathonien J^2

Son trait essentiel est d'être formé par des calcaires compacts sublithographiques, en bancs massifs. A l'affleurement, il se présente soit en falaises découpées par l'érosion selon des directions préférentielles, soit en surfaces tourmentées résultant de la formation de lapiez. C'est, dans la région, le niveau le plus important de gouffres, grottes, et galeries donnant lieu à des circulations souterraines. Sa surface est parsemée de dolines.

A la base, on rencontre assez souvent des niveaux graveleux, dont les éléments ont des contours très tranchés. Un tel niveau, d'une cinquantaine de centimètres d'épaisseur, a permis de faire la coupe précise de la pincée des Granges-Mathieu, au niveau de la route qui va de Chenecey aux Granges-du-Sapin (cf. pl. IV).

Il existe également à certains niveaux, même très hauts, du Bathonien, des passées nettement oolitiques qui peuvent parfaitement prêter à confusion avec les faciès du sommet de la Grande Oolite.

Dans une carrière située au Nord de Courcelles, on peut observer le passage des calcaires compacts aux calcaires de la Dalle Nacrée (x = 874,64 ; y = 2?9,65). Le calcaire graveleux blanc qui termine la série des calcaires compacts présente à son sommet une surface corrodée avec des traces de rubéfaction. Au dessus viennent 30 à 50 cm de marnes brunes sans macrofaune, puis des dalles de calcaire oolitique renfermant un important pourcentage de débris de fossiles et d'entroques, et qui forment la base de la "Dalle Nacrée".

Le Bathonien a 40 m dans la partie Nord du secteur étudié, 60 m dans la partie Sud.

6 - Callovien J^3

Les marnes qui forment le passage du calcaire compact à la Dalle Nacrée sont peu épaisses, très rarement visibles, et n'existent sans doute pas toujours.

La Dalle Nacrée constitue l'essentiel de cet étage. Elle est constituée par des calcaires bruns oolitiques, avec de nombreuses entroques et des débris de coquilles. Certains niveaux, parfois constitués de marnes jaunâtres, sont riches en Bryozoaires, radioles d'oursins, etc...

Au dessus viennent des marnes ocres à oolites ferrugineuses, contenant de nombreux fossiles, dont les espèces suivantes ont été récoltées au Sud-Est de Cussey-sur-Lison, au point de coordonnées Lambert x = 875,14 et y = 234,85 :

Reineckeia sp. groupe anceps

Reineckeia groupe hungerica TILL

Reineckeia aff. brancoi STEIN

Kosmoceras cf. ornatum

Reineckeites douvillei STEIN

Hecticoceras cf. inconspicua DE LORIOL

Rhynchonella spathica LAM

(déterminations J. BOURQUIN)

Erymnoceras sp.

Belemnopsis calloviense

(déterminations J. BLAISON)

"Aulacothyris"pala

Terebratula cf dorsoplicata

Pholadomya escheri AG

(déterminations A. ROLLET)

La puissance totale du Callovien est de 25 m.

7 - Oxfordien J^4

Les marnes bleues de l'Oxfordien forment une combe qui débute par le replat structural de la Dalle Nacrée.

Les fossiles suivants y ont été trouvés sur les pentes herbeuses qui dominent Echay, au Nord (déterminations J. BLAISON) :

Quenstedticeras praecordatum
Quenstedticeras praelamberti
Sublunoceras bersilia d'ORB
Parapeltoceras sp.
Quenstedticeras cf. carinatum EICHWALD
Taranelliceras rycteis BUCKOVSKY
Pentacrinus pentagonalis

On peut assigner à cette formation une épaisseur de 50 m.

8 - Argovien J^5

Dominant les pentes herbeuses de l'Oxfordien, les couches argoviennes forment la base d'une falaise que couronne le Rauracien, dans la région de Courcelles, Châtillon, Cussey-sur-Lizon, Echay, Rurey.

Les marnes bleues de l'Oxfordien passent assez rapidement à des marnes brunes à intercalation de bancs de calcaire marneux qui se débite "en miches". Puis on rencontre des calcaires marneux gris-jaune en bancs de 30 à 50 cm, séparés par des lits de marnes grumeleuses, et qui se partagent en parallélépipèdes arrondis. Peu à peu, les lits de marnes sont de plus en plus réduits et l'on rencontre un pourcentage croissant de fossiles silicifiés, qui apparaissent comme des points blancs dans la masse grise ou jaunâtre des calcaires.

La base de l'Argovien constitue un important niveau de sources, qui jaillissent à la limite marnes-calcaires marneux.

Le passage au Rauracien est très difficile à préciser dans la plupart des cas : les affleurements sont en effet assez inégalement répartis, et la différence entre les faciès des deux étages trop peu accentuée.

La puissance de l'Argovien est de 40 m.

9 - Rauracien J^6

Ce sont des calcaires grisâtres ou jaunes, riches en Polypiers plus ou moins recristallisés, surmontés par des calcaires blancs oolitiques, que l'on rencontre seulement dans la partie Ouest du secteur étudié, là où le Séquanien surmonte ces formations.

On peut lui assigner une épaisseur de 30 à 40 m.

10 - Séquanien J^7

Seule la base de cet étage existe sur le secteur étudié. Elle est constituée de calcaires sublithographiques en bancs peu épais. On rencontre ces couches à la limite Ouest de la carte, de Palantine à Echay.

11 - Formations superficielles

Il existe d'importants cônes d'éboulis provenant des reliefs de Jurassique moyen. Les abrupts très émoussés du Jurassique supérieur n'en donnent qu'une faible épaisseur. La groise, éboulis calibré d'origine périglaciaire, existe en quelques points (cf. notamment la groisière de la coupe à travers la pincée des Granges-Mathieu, pl. IV).

Les argiles à chailles constituent les témoins des surfaces d'érosion d'Ornans et de Montrond, datant respectivement du Vindobonien et du Pontien (M. DREYFUSS et L.GLANGEAUD, 1950). On en rencontre à l'Est du bois du Petit Narmont par exemple, ou dans des vallées sèches : à l'Ouest du Moulin des Iles et au Sud-Ouest d'Echay (x = 873,4 ; y = 232,5) notamment.

Les eaux des sources, particulièrement chargées de calcaire, provoquent des dépôts de tufs. On en rencontre au Sud-Est des Touvières, à l'Ouest et au Sud-Ouest de Cussey-sur-Lison.

Les alluvions de la Loue (Fz), exclusivement calcaires, sont formées de galets et d'un "sable" calcaire qui peut avoir des éléments de très petite dimension, mais il n'y a qu'un assez faible pourcentage d'argile. Des terrasses d'alluvions, dominant de 5 à 10 m le lit majeur (Fy), se rencontrent tout le long du cours de la Loue : en dessous de Roche-Gauthier, à l'Abbaye de Buillon, à la ferme de la Fougère, à la ferme de la Meule, aux forges de Châtillon, en amont du confluent Loue-Lison (gisement cité par J. HOLEF, 1962). J.B. SIRI a trouvé 4 galets, près de la ferme de la Meule, qu'il pense devoir attribuer au Glaciaire de la haute vallée de la Loue, mais, ces exceptions mises à part, il s'agit d'alluvions calcaires.

Les alluvions du Lison (Fz) sont de même nature, mais il en existe une quantité moindre. On trouve en plusieurs points des vestiges de terrasses (Fy), et notamment au Sud d'Echay et au Nord-Est de Myon.

3°) Tectonique

Le secteur étudié est constitué par une zone de plateaux coupés de quelques failles, entre le faisceau de Quingey dirigé Nord-Sud, et les prolongements de la faille de Mamirolle, qui bordent la partie Sud-Est, aux environs de Lizine, Doulaize et Myon.

La faille de Cessey (terminologie utilisée par J.B.SIRI) n'apparait que sur une faible longueur dans le secteur étudié, sur la rive droite de la Loue, à l'Ouest des Touvières. Elle y met en contact l'Argovien monoclinal avec le flanc renversé Ouest de l'anticlinal du Landet, constitué par les calcaires du Jurassique moyen.

L'anticlinal du Landet, ainsi appelé par J.B. SIRI, apparait sur les deux rives de la Loue. Les marnes du Lias constituent son coeur, aussi bien aux Touvières, que sur les pentes du bois du Faulet, où elles sont masquées par une forte épaisseur d'éboulis. Le flanc Est, normal, est constitué par les couches du Jurassique moyen, affectées d'un pendage de 40 à 50° Est-Sud-Est (bois du Faulet et Est des Touvières). Et, sur rive droite, à partir du bois du Petit Narmont, le Bathonien devient peu à peu subhorizontal, avant que ne s'amorce le synclinal du Petit Narmont (J.B.SIRI).

La faille du Souillet met en contact le Bathonien, pendant de 10° vers l'Est-Sud-Est, de l'anticlinal du Landet avec le Jurassique moyen, affecté d'un pendage 40° Est-Sud-Est, au Sud et 80° Est-Sud-Est à hauteur du château de Chenecey.

La faille de Goux-sous-Landet (J.B. SIRI) met en contact le Jurassique moyen très incliné à l'Ouest, et le Jurassique moyen subhorizontal de la Vieille Grange. A hauteur de ce lieu-dit, il n'y a pas la place matérielle de disposer les séries entre le Bathonien horizontal et la Grande Oolite affectée d'un pendage 50° Est-Sud-Est, d'où la nécessité de poursuivre là la faille : J.B. SIRI plaçait là une flexure. Plus loin vers le Nord, les pendages du compartiment Est tournent de 20° Est-Sud-Est à 20° Sud, ce qui permet de penser que la faille, bien qu'invisible dous les éboulis, s'infléchit et prend la direction Est-Ouest, pour rejoindre la pincée des Granges-Mathieu. Elle est alors dans l'axe d'un anticlinal faillé dissymétrique où affleure l'Aalénien au Nord, et la Grande Oolite au Sud.

Le compartiment de Chenecey-Charnay est affecté de pendages faibles dans le Jurassique moyen, Bajocien à Chenecey, Bathonien au Sud de Charnay, le Jurassique supérieur apparaissant au Sud de Palantine.

La pincée des Granges-Mathieu est un compartiment affaissé de Bathonien, encadré de deux compartiments de Grande Oolite subhorizontale. Bien visible au niveau de Chenecey, où l'on peut faire une coupe le long de la route Chenecey - Granges du Sapin (cf. pl. IV), sa trace se perd au Sud de Charnay, où elle met en contact des calcaires bathoniens entre eux, puis on la retrouve au niveau de Courcelles, où la Dalle Nacrée est

effondrée entre deux compartiments de Bathonien. A l'entrée d'un gouffre à 200 m au Sud-Ouest de Courcelles, on trouve l'Oxfordien de la pincée en contact avec la Dalle Nacrée du compartiment Est. Au Sud de Courcelles, on perd à nouveau la trace de la pincée, dans les calcaires du Jurassique supérieur ; mais on la voit s'amortir définitivement dans les falaises situées à l'Ouest de Cussey-sur-Lison.

La faille des Granges du Sapin est affectée d'un assez faible rejet, qui ne doit pas dépasser 15 à 20 m. De part et d'autre, les couches ont un pendage de 10° Nord-Nord-Ouest en moyenne, avec, dans certains secteurs, un rebroussement beaucoup plus accentué. Elle dépasse à peine une longueur de 2 km. Lorsqu'elle atteint la Loue, elle disparait sous les alluvions, et l'on retrouve sa trace sous forme de pendages 25° Nord-Nord-Ouest affectant le Bajocien à entroques au Sud, sans qu'il y ait cassure (flexure du bois de Buillon). Cette flexure est prise en relais par la faille de Rouhe (nomenclature de J.B. SIRI) qui sépare deux compartiments tabulaires. A hauteur de Courcelles, le compartiment Ouest (Dalle Nacrée) est affaissé de 30 m par rapport au compartiment Est (Bathonien). Sur le parcours de la faille, on aperçoit des lambeaux de terrains dont le niveau est intermédiaire par rapport à celui des deux compartiments. Ainsi à hauteur de l'église du Mont, où l'Oxfordien est en contact avec le Bathonien, on rencontre deux lambeaux de Dalle Nacrée. La faille s'amortit et disparait au niveau du bois de la Barme.

Le château de Châtillon-sur-Lison est situé sur les calcaires argoviens d'un compartiments effondré situé entre deux failles. La faille de Châtillon, de direction Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest, s'amorce sur la rive droite de la Loue, et atteint son rejet maximum à hauteur du château, où elle met en contact la Dalle Nacrée et l'Argovien. Elle se termine très rapidement vers le Sud-Ouest en flexure (pendage de 40° Nord-Ouest dans la falaise qui domine le Lison). On a ensuite un plateau de Jurassique moyen exempt de toute cassure, puis, à hauteur d'Echay, on retrouve une faille, située exactement dans l'axe de la précédente : la faille d'Echay, dont le rejet augmente vers le Sud-Ouest, jusqu'à mettre en contact , à la limite du secteur étudié, l'Argovien et le Bathonien du relief qui domine Myon. C'est sur le tracé de cet accident qu'existe à cet endroit une vallée sèche déjà signalée plus haut.

La faille du Moulin Neuf, parallèle à celle de Châtillon, limite à l'Est le compartiment effondré. Elle nait sur la rive droite de la Loue, disparait sous les alluvions du Lison, met en contact, au niveau du château de Châtillon l'Oxfordien et le Bathonien, puis redisparait sous les alluvions.

La faille du Bois Barchet prend naissance au Nord-Ouest de Lizine, et court selon une direction Nord-Est - Sud-Ouest. Elle limite à l'Est un synclinal dissymétrique de même direction qu'elle au niveau du Bois Barchet. Ce synclinal se complique par la présence au Sud-Ouest, dans le bois de Montbergeret, d'un léger bombement anticlinal qui le divise en deux parties : un léger synclinal de direction Est-Ouest va mourir contre la faille d'Ebhay, et un synclinal dissymétrique laisse apparaitre sur son flanc Ouest le Bajocien inférieur au niveau du Lison.

La faille du Bois Barchet est rejointe, au Sud-Ouest de Lizine, par une petite faille de direction Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest, qui fait remonter le Bathonien (au Sud) au niveau de l'Oxfordien. A l'Ouest du bois des Ormes, une faille parallèle à celle du Bois Barchet met en contact le Bathonien horizontal avec les couches du Jurassique moyen affectées d'un pendage 30 à 40° Est. La localité de Doulaize, sur l'Oxfordien, est ainsi entourée par des reliefs de Jurassique moyen dirigés Est-Ouest puis Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest.

Ainsi, la zone étudiée est bordée à l'Ouest par des accidents dirigés Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest et Nord-Sud, et constituant la bordure du faisceau de Quingey. Au Sud-Est, on rencontre au contraire des failles dirigées Nord-Est - Sud-Ouest, qui font partie des prolongements de la faille de Mamirolle. Entre ces deux zones d'activité tectonique plus forte, s'étend une région tabulaire recoupée de quelques failles.

4°) Morphotectonique

L'histoire géologique du Jura peut se résumer en plusieurs périodes : des phases d'activité tectonique sont séparées par deux phases calmes pendant lesquelles se sont nivelées deux surfaces d'érosion :

- la première, appelée "surface d'Ornans" dans la région bisontine, s'est creusée à partir du niveau de base constitué par la mer située à l'Est du Jura.

- la seconde, appelée "surface de Montrond", a pris naissance au Pontien, à partir d'un autre niveau de base, situé à l'opposé du premier.

(travaux de M. DREYFUSS, N. THEOBALD et J. THIEBAUT, 1962).

A la lumière de ce très bref aperçu de la formation du Jura, nous pouvons tenter d'émettre quelques remarques sur la zone étudiée.

La surface d'Ornans est visible surtout dans la partie Sud. Elle nivelle les terrains du Jurassique supérieur, Argovien, Rauracien et Séquanien, à une altitude de 450 m sur la rive gauche du Lison et de la Loue, et de plus de 500 m sur la rive droite de la Loue. La faille de Rouhe et le prolongement de la pincée des Granges-Mathieu au Sud de Courcelles ne déforment pa s cette surface : ces deux accidents sont donc antérieurs à sa formation.

La surface de Montrond s'est formée en contrebas, où elle a nivelé les terrains du Jurassique moyen, à une altitude qui va de 380 à 420 m. La faille du Souillet et celle de Roux-sous-Landet ont au moins rejoué postérieurement à la formation de cette surface, ainsi que la partie de direction Est-Ouest de ce dernier accident, que J.B. SIRI appelle l'anticlinal des Granges-Mathieu. La pincée des Granges Mathieu n'a sans doute pas rejoué au niveau de Courcelles, puisqu'elle est invisible lorsqu'elle met en contact des terrains bathoniens entre eux, entre Courcelles et Charnay. C'est une érosion différentielle récente qui la fait apparaitre aux environs de Courcelles. Au contraire, au Nord des Granges-Mathieu, au lieu-dit Combes Leveuses, la pincée a rejoué dans le sens d'un nouvel enfoncement, accompagné d'un notable redressement des compartiments Est et Ouest.

Le replat structural de Lizine semble devoir être attribué à la surface de Montrond. La faille de Châtillon et celle du Moulin Neuf ne paraissent pas avoir rejoué après cette phase d'érosion. Au contraire, la faille du Bois Barchet ainsi que les accidents qui se trouvent à l'Est et au Sud de Lizine ont du rejouer après l'élaboration de la surface de Montrond, isolant des replats structuraux comme celui de Lizine et celui de Doulaize.

B - ETUDE DES DEUX PROJETS DE BARRAGES

1°) Caractéristiques des projets

Deux projets sont en présence, l'un excluant l'autre. Il existe une variante possible, qui consiste à réaliser les deux projets en ramenant le projet aval, le plus important, à des dimensions réduites.

1 - Le projet aval

Implantée entre les forges de Chenecey et l'ancienne abbaye de Buillon, une digue de 220 m de long et de 30 m de haut créerait une vaste retenue de 60.000.000 m3, dont le plan d'eau remonterait jusqu'à l'aval de la localité de Cléron (sur la Loue) et jusqu'au niveau d'Echay (sur le Lison). La cote maximum de la retenue serait située à 310 m d'altitude. La création de ce lac artificiel noierait le château de Buillon et les anciennes forges (en ruine) situées à côté, la ferme de la Fougère, celle de la Meule (la Froidière), les installations des forges de Châtillon (petit aménagement E.D.F. au fil de l'eau), la ferme du Moulin Neuf, celle de la Grange Golgru, et plusieurs petites maisons de pêcheurs situées à l'amont sur le Lison et la Loue.

Le débit moyen de la Loue à Chenecey étant de 43,7 m3/s, la retenue se remplirait en 8 jours grâce à un tel débit. Cette façon d'exprimer le temps de remplissage permet de se faire une idée de l'importance de la régularisation.

Le graphique d'exploitation des barrages (pl. II) permet de se rendre compte également de l'importance du projet. Avec un étiage de 3 mois, soit 90 jours, on pourrait libérer à l'aval 7,6 m3/s en plus du débit naturel à condition que la retenue soit pleine au début de la période de basses eaux, soit une augmentation de 120 % (débit d'étiage : 3 m3/s en 1962).

2 - Le projet amont

Il est beaucoup plus modeste. Une digue située en amont du pont de Châtillon, aurait une longueur de crête de 150 m, une hauteur de 15 m, et déterminerait une retenue de 12.000.000 m3 dont le plan d'eau maximum serait situé à la cote 310, la même que celle du projet précédent, d'où l'inutilité de réaliser simultanément les deux barrages. Ce lac artificiel noierait les mêmes constructions, sauf celles qui sont situées à l'aval du pont de Châtillon (le château de Buillon, deux fermes et la petite centrale hydroélectrique de Châtillon).

Le temps de remplissage de la retenue serait de 2 jours. Et, pour un étiage ayant les mêmes caractéristiques que celui qui a été cité plus haut, on pourrait libérer à l'aval un débit de 1,35 m3/s en plus du débit naturel d'étiage de 3m3/s.

3 - Variante possible :

On pourrait construire les deux barrages, en donnant au lac artificiel aval une cote maximum de 292 m, de façon à ne pas noyer le barrage amont et les forges de Châtillon. Les dimensions de l'ouvrage aval en seraient considérablement réduites, mais le volume total des deux retenues serait de 20.000.000 m3, ce qui diminue l'intérêt du projet.

2°) Etanchéité des retenues

On se trouve là dans une zone de plateaux calcaires faillés. L'étanchéité semble donc à priori très aléatoire. R. COLLE indique par ailleurs que L. GLANGEAUD, ayant examiné ce projet adapté aux impératifs de l'E.D.F. avait émis des réserves à ce sujet.

Nous avons tenté de résumer sur une planche tous les indices permettant de conclure à une circulation d'eau réelle ou possible dans les calcaires de ce secteur. Ces indices sont :

1 - Les failles : l'importante zone de dislocation de la pincée des Granges-Mathieu détermine un certain nombre de cavités et galeries, parcourues ou non par l'eau (grotte des Granges-Mathieu, galeries des Combes Leveuses, grotte de Chenecey, importante résurgence de Chenecey, gouffre de Courcelles). Le gouffre de la Barme se trouve à l'extrêmité de la faille de Rouhe ; une perte de ruisseau peut être observée sur le trajet de cet accident, au Sud-Est de Courcelles, près du point coté 367,2.

2 - Les flexures : celle qui relie la faille des Granges du Sapin à la faille de Rouhe (flexure du Bois de Buillon), et sur laquelle s'appuiera le projet aval, détermine le tracé d'un secteur de la Loue, ce qui implique la présence d'une zone de moindre résistance à l'action des eaux. Il en est de même pour le tracé du Lison et la flexure qui prolonge au Sud la faille de Châtillon.

3 - Les zones diaclasées : leur influence est la même que celle des failles drainantes ; dans bien des cas cependant elle est plus localisée.

4 - Les vallées : elles sont utilisées comme indice morphologique de moindre résistance à l'action de l'eau, qu'il s'agisse de la Loue, du Lison, des petits ruisseaux qui drainent les plateaux calcaires, ou des vallées sèches.

5 - Les galeries, gouffres, résurgences connus, constituent des indices pour orienter les recherches vers les autres cavités susceptibles de permettre une circulation d'eau.

Ainsi se justifie, dans cette zone de plateaux, où aucune formation imperméable ne peut servir d'écran étanche, l'établissement d'une carte hydrologique des calcaires dans la région de Chenecey (planche V).

On y distingue une zone où la fissuration est dirigée Nord-Sud, parallèlement à la Loue, dans le secteur de Chenecey, Charnay, Courcelles, Rouhe, Cussey-sur-Lison, et une zone

où aucune direction ne semble bien définie : la région de Rurey, avec une fissuration Nord-Est - Sud-Ouest, une résurgence importante (source de la Froidière), une galerie souterraine parcourue par l'eau (grotte du Moulin des Iles). Cette deuxième zone est dans l'axe du vaste réseau de circulations karstiques dont l'un des points de départ est constitué par le marais de Saône, les relais connus les plus proches étant les gouffres de la région de Montrond-le-Château et le gouffre de la Fromagerie à Epeugney, et les aboutissants les plus importants étant les sources du Maine, de l'Ecoutot et du Moulin des Iles, toutes trois noyées par les projets de retenue de Chenecey.

Cette carte hydrologique des calcaires constitue le point de départ des études qui devront être effectuées : explorations spéléologiques, expériences de coloration, mesure de débit des sources.

Il est bien entendu qu'une fois les lacs artificiels créés, les galeries à écoulement dirigé vers la Loue pourront changer de sens de drainage, les galeries sèches pourront donner lieu à un écoulement et les fissures, si petites soient-elles seront susceptibles de s'élargir et provoquer des pertes importantes.

D'après les travaux de J.B.SIRI (1964) et G. CHEVASSU (1965), il semble que l'anticlinal du Landet à noyau liasique ainsi que les unités tectoniques parallèles empêchent les eaux de se perdre de la retenue vers la partie de la vallée de la Loue située en aval du méandre de Chenecey.

A travers les calcaires, surtout dans le cas du grand projet aval, les eaux pourraient se diriger vers le Nord, comme le montre la carte hydrologique des calcaires. Mais, pour le projet aval, un voile d'étanchéité au niveau du site et à travers la pincée des Granges-Mathieu permettrait sans doute d'arrêter pratiquement toutes les pertes.

Le petit projet amont semble plus sûr, par les dimensions plus modestes de l'ouvrage, et sa situation dans une zone calme du point de vue de la fissuration. Mais, contrairement au projet aval, il est très difficile de préciser dans quel secteur les pertes sont susceptibles de se produire.

3°) Stabilité des barrages

Pour chacun des deux projets, il faut obligatoirement décaper les alluvions perméables, de façon à appuyer la digue sur le calcaire résistant et non altéré. Les alluvions, selon J.B. SIRI, ont une épaisseur moyenne de 4 m. L'altération du calcaire devrait faire l'objet des travaux suivants :

1 - Barrage aval : une reconnaissance précise du calcaire en place devra être effectuée, de manière à reconnaitre la zone la plus solide. On se trouve en effet à proximité immédiate de zones fissurées de direction parallèle au cours de la Loue : pincée des Granges-Mathieu sur rive gauche, faille des Granges du Sapin et flexure du bois de Buillon sur rive droite et sous les alluvions. En fonction de cette reconnaissance préalable, on définira un site précis entre les forges de Chenecey et le château de Buillon.

Du point de vue des roches rencontrées, on se trouve dans les formations du Bajocien inférieur : on peut y trouver des passages marneux et des alternances calcaires-marnes.

2 - Barrage amont : le site est plus favorable au point de vue de la stabilité. La zone est peu fissurée. Les calcaires de la Grande Oolite affleurent en falaise. Une reconnaissance de détail des diaclases permettra de choisir le site le plus favorable à l'amont du pont de Châtillon.

4°) Conclusion pratique

Trois solutions sont possibles à Chenecey : elles donneraient des capacités de 60.000.000 m3, 12.000.000 m3 et 20.000.000 m3. Chaque projet nécessite une étude très soigneuse de la fissuration des calcaires. Tout barrage dans cette zone demandera la création d'un voile d'étanchéité peut-être assez étendu.

IV - LE BARRAGE DE SAINT-HIPPOLYTE

-----oOo-----

A - ETUDE GEOLOGIQUE

1°) Situation

La majeure partie de la retenue projetée a été levée au 1/20.000. Ce secteur est entièrement situé sur la feuille de Maiche 4. Il est limité à l'Ouest par l'extrêmité de cette carte, au Nord-Ouest par la localité de Bief, au Nord par le bord du plateau qui domine le Doubs, à l'Est par l'extrêmité de la feuille et au Sud par les localités des Vacheresses, de Mancenans et d'Orgeans.

2°) Stratigraphie

Les terrains secondaires rencontrés vont des marnes du Lias supérieur aux calcaires du Ptérocérien (Kimméridgien inférieur). Quelques bonnes coupes ont pu être effectuées, mais elles sont très fragmentaires.

1 - Toarcien l^5

Les marnes du Lias supérieur forment les pentes situées à l'Ouest de Bief, au Sud-Ouest de Vauchamp et en bas du bois du Falot. Mais ces formations affleurent très mal. C'est près de Vauchamp (x = 938,95 ; y = 267,72) que Trochus subduplicatus, Leda rostralis, etc... ont été recueillis dans des marnes gris-bleu glissées.

2 - Aalénien l^6

Les marnes aaléniennes se terminent à leur sommet par des marnes micacées, ayant la consistance de schistes, sur lesquelles on rencontre de très nombreuses pistes de Nereis (détermination de N. THEOBALD) dans tous les gisements où ces marnes apparaissent : sur la rive droite du Dessoubre, en face du Pont de Fleurey ; à l'Ouest du Pain de Sucre, en contrebas de la D 137 ; et au Sud-Ouest de Vauchamp, mêlées aux marnes toarciennes déjà citées.

Au dessus des marnes, viennent des calcaires plus ou moins ferrugineux, à entroques et très nombreux petits lamellibranches, et notamment Pecten pumilus. Une lame mince a montré des coquilles des Lamellibranches, des fragments de Bryozoaires, et des Miliolidés du genre Spirophtalmidium (détermination A. ROLLET). Une petite falaise de ces calcaires est visible à hauteur du Pont de Fleurey, sur rive droite et sur rive gauche.

3 - Bajocien inférieur J^{1a}

Ce sont des calcaires à entroques surmontés de formations riches en Polypiers. A la sortie Sud de St-Hippolyte, en bordure de la RN 437, on peut observer la coupe suivante de bas en haut :

- Calcaires bleus en petits bancs séparés par des joints marneux ocres ; gros Lamellibranches, nombreux petits Pectens, rares Polypiers..... 1,20 m
- Calcaires massifs à entroques..... 1,40 m
- Calcaires bleus en petits bancs séparés par des joints marneux..... 2,00 m
- Calcaires bicolores bleus et ocres à entroques et oolites..... 8,10 m
- Calcaires oolitiques bleus et ocres..... 0,50 m
- Calcaires sublithographiques bleus à Polypiers massifs et nombreux Brachiopodes..... 7,00 m
- Calcaire microcristallin bleu à trainées rouilles ; Brachiopodes..... 1,70 m
- Calcaire oolitique à Polypiers massifs cristallisés.. 0,25 m
- Calcaires oolitiques à oolites sphériques, avec rares Polypiers à la base seulement, passant au sommet à un calcaire oolitique et graveleux..... 16,70 m

Ce dernier faciès forme la base de ce qui a été carté en Grande Oolite (J^{1b}). La coupe ci-dessus représente le sommet du Bajocien inférieur. La base affleure bien dans le lit du Dessoubre, à Neuf-Gouffre (site du barrage) : c'est un calcaire bleu à grosses entroques jaunes (dont des Pentacrines).

On peut attribuer au Bajocien inférieur une puissance totale de 60 m.

4 - Bajocien supérieur J^{1b}

Les calcaires de la Grande Oolite présentent quelques variations de faciès. Sur la route qui va de Nadan à Liebvillers, on peut observer, au sein de formations oolitiques

typiques, un niveau important de calcaires dolomitiques gris entrecoupé de lits de 10 cm d'épaisseur d'une roche ayant l'aspect macroscopique d'une brèche. Il semble s'agir d'une brèche intraformationnelle épigénisée par de la dolomie plutôt qu'une brèche provoquée par cette épigénisation (1). Ce faciès particulier n'a été retrouvé en aucun autre point.

A mi-hauteur, dans la Grande Oolite, on rencontre en plusieurs points un niveau de calcaire marneux riche en Pholadomyes : dans la coupe que l'on peut faire le long de la RN 437, à l'Est de Neuf Gouffre, ce niveau a une épaisseur de 4 m, et se trouve à 25,60 m sous la limite Grande Oolite - Bathonien.

Le Bajocien supérieur a une épaisseur de 40 à 50 m dans cette région.

5 - Bathonien J^2

Cet étage est essentiellement constitué par des calcaires sublithographiques en bancs massifs. La coupe citée précédemment en donne 24 mètres en tout.

En bordure du Ruisseau de la Forge, au Sud-Ouest de Mouillevillers, un niveau fossilifère a fourni (déterminations A. ROLLET):

"Zeilleria" subbuculenta CHAPUIS et DEWALQUE

Terebratula cf. etheridgii DAV.

Au Nord-Ouest de Montandon, dans la Côte St-Hippolyte, une Ammonite a été trouvée, et D. CONTINI en donne la détermination suivante :

Parkinsonia aff. neuffensis OPPEL

On peut donner au Bathonien une épaisseur moyenne de 30 m, mais, dans le secteur de Neuf-Gouffre, il semble bien que l'on trouve des calcaires compacts sur une épaisseur de 50 m.

6 - Callovien J^3

Il débute par un calcaire marneux roux alternant avec des marnes à oolites ferrugineuses contenant de nombreux fossiles : c'est l'équivalent du "calcaire roux sableux" des auteurs suisses, considéré comme étant d'âge Bathonien supérieur, mais que nous avons rangé dans le Callovien pour des raisons purement cartographiques.

Au dessus viennent des calcaires à entroques en bancs peu épais : c'est la Dalle Nacrée. Les marnes du Callovien moyen et supérieur qui surmontent habituellement ce faciès n'ont pu être trouvées en aucun point de la région étudiée.

La puissance du Callovien peut être estimée à 30 m.

(1) un essai à l'alizarine a confirmé la présence de dolomie.

7 - Oxfordien J^4

Ce sont des marnes bleues qui forment des pentes douces dominant le Jurassique moyen, ou des combes bien caractérisées. Au Sud du lieu dit Soyère, les fossiles suivants ont été trouvés (déterminations J. BLAISON) :

Quenstedticeras praecordatum DOUVILLE

Sublunoceras bersilia d'ORB.

Aspidoceras sp.

L'Aspidoceras découvert est un fossile pyritisé de 12 cm de diamètre. Des fragments de lignite pyritisé accompagnaient ces échantillons.

On peut estimer à 60 m l'épaisseur de l'Oxfordien.

8 - Argovien J^5

Les formations correspondant à cet étage sont très rarement visibles : elles sont masquées par les éboulis provenant de la falaise rauracienne.

Cependant, au Nord-Ouest de Mouillevillers, apparaissent des calcaires marneux se débitant en "miches" alternant avec des lits de marnes feuilletées. On y rencontre quelques Pholadomyes.

La partie supérieure de l'étage est constituée de calcaires à chailles, dont on rencontre les témoins en plusieurs points : Valory, région située au Nord de Neuf-Gouffre, falaise que surmonte le bois de Vaubierge.

On peut assigner à l'Argovien une épaisseur de 30 m.

9 - Rauracien J^6

Les limites de cet étage sont difficiles à préciser. Son faciès caractéristique est représenté par un calcaire oolitique blanc, qui constitue la majeure partie de la falaise dominant la combe oxfordienne.

Le Rauracien est épais d'une trentaine de mètres.

10 - Séquanien J^7

Au Nord de la Combe Damotte, une coupe dans le Rauracien supérieur et le Séquanien inférieur a permis de retrouver un "banc polyédrique" semblable à celui qui est bien connu à Besançon, dans la même position stratigraphique. On y distingue de bas en haut :

- Calcaire oolitique blanchâtre à grosses oolites plus ou moins aplaties et petites oolites sphériques, contenant également quelques rares entroques ; mylonitisation à cet endroit..... 1,70m
- Calcaire sublithographique à cassure conchoïdale, de couleur ocre, avec quelques gravelles..... 12,05m
- Marnes feuilletées blanches et lie-de-vin..... 0,60m
- Calcaires gris en bancs alternant avec des joints marneux de 2 à 10 cm..... 1,90m
- Calcaire grumeleux gris et rouge..... 0,90m
- Zone mylonitisée correspondant à un niveau marneux.... 1,00m
- Calcaire graveleux ou sublithographique..... 4,00m
- BANC POLYEDRIQUE constitué par un calcaire cryptocristallin parsemé de quelques cristaux de calcite visibles à l'oeil nu et disposés grossièrement selon des lits horizontaux. La surface du banc est bosselée.... 0,25m
- Marnes feuilletées, blanches et lie-de-vin..... 0,65m
- Calcaires marneux gris alternant avec des lits de marnes..... 7,20m
- Marnes blanches fossilifères : petits Lamellibranches. 0,30m
- Marnes feuilletées blanches ou lie-de-vin, encadrées de quelques bancs calcaires peu épais..... 2,48m

La coupe du Pont de Fondereau, déjà citée par W.KILIAN et W.DEECKE (1983), et qui peut être suivie facilement dans la tranchée de la RN 437, montre une série beaucoup moins marneuse, avec des niveaux à Polypiers à la base du Séquanien.

On peut considérer que l'épaisseur de cet étage est voisine de 100 m.

11 - Kimméridgien J^8

Au Nord de la Combe Amiot, au point de coordonnées x = 938,30 et y = 263,72, des fossiles ont été récoltés et notamment Pterocera oceani. Il s'est révélé impossible, faute de bons affleurements et de niveaux repères précis, de placer la limite exacte entre le Séquanien et le Kimméridgien . Les calcaires de la base de cet étage, les seuls représentés sur le secteur étudié, se présentent en bancs épais, alternant avec des bancs tendres de calcaire marneux.

Il n'a pas été trouvé trace de Kimméridgien supérieur dans cette zone.

12 - Formations superficielles

Il existe de très importants dépôts d'éboulis, provenant de la dégradation des falaises du Jurassique moyen et surtout du Jurassique supérieur. Ces éboulis contiennent parfois de très gros blocs. Il n'existe pas dans ce secteur d'éboulis calibrés du type "groise".

A l'Est de Vauchamp, la carte géologique au 1/50.000 de Maiche (édition de 1964 en préparation), indique un"écroulement" des terrains allant du Rauracien à la Grande Oolite. Bien qu'il y ait effectivement des éléments d'éboulis d'âge Rauracien, il nous a été tout à fait impossible d'effectuer une discrimination entre d'autres terrains, et nous avons carté cette zone en éboulis, faute d'arguments probants.

Quelques dépôts de tufs sont à signaler : au Nord de Vauchamp, sur la Dalle Nacrée de la rive droite du Doubs ; dans le lit d'un ruisseau de la Côte du Diable ; etc...

Les alluvions du Doubs sont pratiquement entièrement calcaires. Outre celles du lit majeur (Fz) nous avons différencié une terrasse d'alluvions (Fy), située à une altitude de 5 à 10 m au dessus des dépôts actuels. La partie Nord de la localité de St-Hippolyte est construite sur la rive convexe du méandre du Doubs qui reçoit le Dessoubre sur la rive concave. Nous avons marqué Fz les alluvions déposées à l'intérieur de ce méandre. Elles sont en effet d'un âge compris entre celui des terrasses (Fy) et l'époque actuelle. Il s'agit de trois terrasses :

- la plus haute et aussi la plus étendue domine le Doubs de 5 à 6 m ; elle est sans doute contemporaine des alluvions Fy.

- la terrasse moyenne domine le Doubs de 3 m.

- la basse terrasse , qui est aussi la plus réduite en superficie domine le Doubs de 1,5 m.

Il s'agit d'un enfoncement du méandre qui s'est effectué en trois étapes successives.

Au Nord de ce même méandre, à hauteur du Moulin Neuf, deux placages d'alluvions anciennes du Doubs ont été retrouvés : ils dominent de 10 et 15 m le fond de la vallée, et sont constitué par des galets calcaires légèrement cimentés. Ils ont été notés Fy sur la carte.

Les alluvions du Dessoubre sont de même nature, mais beaucoup plus réduites en superficie. Il s'agit surtout d'alluvions actuelles (Fz). Mais on retrouve plusieurs lambeaux de terrasses (Fy) notamment en face du Pont de Fleurey, sur la rive droite du Dessoubre.

3°) Tectonique

Le secteur étudié comprend une série d'accidents Est-Ouest ou Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest, anticlinaux, synclinaux et failles chevauchantes, recoupés par des accidents cassants, de direction méridienne.

Nous allons étudier chaque unité tectonique en allant du Nord-Ouest vers le Sud-Est, en prenant tout d'abord les accidents Est-Ouest, puis ceux qui ont une direction méridienne.

1 - Les accidents Est-Ouest

Le synclinal de Châtillon-sous-Maiche est dissymétrique, les couches de son flanc Sud étant redressées à la verticale au niveau de Châtillon. Son coeur est constitué de Séquanien. Il prend naissance à Froidevaux contre une faille Nord-Sud et se dirige vers le Nord-Est. Au niveau de Châtillon, il s'infléchit nettement et les couches de son flanc Sud sont alors verticales et même légèrement renversées. Il prend alors la direction de l'Est. Son flanc Sud est légèrement décroché à plusieurs endroits, mais cela n'affecte pas son allure générale. Au contraire, après qu'il ait été traversé de part en part par la grande faille de Neuf-Gouffre, il est tordu et s'infléchit à nouveau vers le Nord-Est. Il vient alors mourir contre le décrochement de St-Hippolyte, de direction Nord-Sud.

L'unité tectonique qui lui fait suite, l'anticlinal de Fleurey, suit les mêmes directions. Il nait lui aussi contre la faille Nord-Sud de Froidevaux, où son coeur est constitué de Jurassique moyen. A partir de Valoreille, il quitte la direction Sud-Ouest - Nord-Est pour la direction Est-Ouest. Décroché par les mêmes accidents que le synclinal de Châtillon, il devient fortement dissymétrique avant d'arriver à hauteur de Fleurey : son flanc Nord est vertical et son flanc Sud descend en pente douce, en marquant même un léger bombement synclinal au Nord-Ouest de Fleurey (affleurement d'Oxfordien). La charnière anticlinale très brusque s'observe bien dans la tranchée de la D 137, au Sud-Est de Châtillon, au niveau du Bathonien. Faillé à hauteur de Neuf-Gouffre, l'anticlinal se poursuit vers l'Est sous forme d'une faille chevauchante, décrochée en son milieu, et qui vient finir contre le décrochement de St-Hippolyte. Cette faille se poursuit à l'Est, sous les éboulis et les marnes glissées du Lias, ce qui interdit toute observation. Les marnes du Toarcien constituent là le coeur de l'anticlinal chevauchant.

Le synclinal du Bois Chateillenot, à flanc Nord incliné à 45° et à flanc Sud subhorizontal, a une direction Sud-Ouest - Nord-Est, et se trouve complètement amorti au niveau de Fleurey.

Le synclinal de Blancheterre fait suite au prolongement Est de l'anticlinal de Fleurey. Il est dissymétrique, son flanc Sud étant redressé presque à la verticale en certains points. Sa charnière, dans le Séquanien est légèrement faillé. Ce synclinal tend à être recouvert par la faille chevauchante de la Côte St-Hippolyte, dirigée Nord-Est - Sud-Ouest, puis s'infléchissant vers le Sud, à l'Est de Mouillevillers, pour venir mourir sous le chevauchement de Montandon.

Dirigée d'abord parallèlement à l'accident précédent, la faille chevauchante de Montandon, prend la direction Est-Ouest au Sud du décrochement de St-Hippolyte, puis s'infléchit à nouveau vers le Sud-Sud-Ouest pour prendre la physionomie d'une faille verticale à partir de Blanchefontaine. Cet accident, souvent masqué par des éboulis, peut malgré tout être facilement suivie par interprétation.

Enfin, l'anticlinal des Vacheresses, à flanc Nord vertical (Argovien, Rauracien et Séquanien pendant à 90° en bordure de la RN 437), à flanc Sud très légèrement incliné, est dirigé Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest. Il vient buter contre la faille de la Combe Amiot, dirigée Nord-Sud, et ne reparait pas au delà.

2 - Les accidents Nord-Sud

La faille de Froidevaux est un vaste accident de direction méridienne qui va mourir sous ce que l'on peut appeler globalement "le chevauchement du Dessoubre", au Sud-Ouest de Rosureux (nous retrouverons cette faille à propos du projet de barrage de Rosureux). Elle est accompagnée d'un accident parallèle, situé à l'Ouest, ces deux failles délimitant un compartiment effondré.

La faille de Châtillon-sous-Maiche nait à l'Ouest de Bief, coupe le synclinal de Châtillon et l'anticlinal de Fleurey, relevant ainsi de 15 à 30 m les couches du compartiment Est.

La faille de Bief débute sur la rive droite du Doubs, et délimite sur les deux côtés de la vallée, un compartiment Ouest abaissé et un compartiment Est relevé. Au niveau du synclinal de Châtillon et de l'anticlinal de Fleurey, elle joue le rôle d'un décrochement. Les deux failles de la Combe Damotte sont deux petits décrochements situés à l'Est, l'un de direction Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest et l'autre franchement Nord-Est - Sud-Ouest. La faille de Fontenotte, petit accident satellite de la faille de Bief, a une très faible importance.

La faille d'Essart Miget est un accident d'ajustement du synclinal de Châtillon, dirigé Nord-Ouest - Sud-Est, ce qui est exceptionnel dans cette région. Elle est accompagnée d'un petit accident à faible rejet, de direction Ouest-Nord-Ouest - Est-Sud-Est, situé entre elle et la faille de Bief.

La faille de Nadan et la faille du Maroc, deux cassures parallèles, de direction Nord-Est - Sud-Ouest, prennent naissance sur la rive droite du Doubs et s'amortissent dans le coeur du synclinal de Châtillon. Leur rejet est relativement faible, la plus grande valeur étant enregistrée dans la Côte du Diable, avec 30 m pour la faille de Nadan.

La faille de Neuf-Gouffre est, avec le décrochement de St-Hippolyte, l'accident Nord-Sud le plus important de cette région. Elle nait contre la faille du Maroc, sur le plateau rauracien qui domine la vallée du Doubs, sur la rive droite. Elle détermine un compartiment Ouest relevé, et un compartiment Est abaissé, le rejet étant de 30 m au niveau du Doubs. L'accident garde le sens de ce rejet à travers le synclinal de Châtillon, et l'anticlinal de Fleurey. Au Sud de Neuf-Gouffre, la faille disparait sous les alluvions, mais la rive gauche du Dessoubre est constituée par les marnes du Lias alors que la rive droite est formée par les calcaires du Bajocien inférieur. Elle suit la rivière jusqu'à l'Est du Pont de Fleurey, où le rejet devient inverse, puis s'annule, à proximité de la faille de Montandon.

Deux petites failles partent de celle de Neuf-Gouffre, en direction du Sud-Est. Ce sont la faille de la Combe de Clan, qui marque le confluent du ruisseau de la Forge avec le Dessoubre, et surtout la faille de Montoille, qui départage les deux théories en présence, à propos de la colline de Montoille, située au Nord de Mouillevillers. W. KILIAN et W. DEECKE (1883) cartaient la colline en Rauracien : cette hypothèse avait été conservée pour la carte Montbéliard 1/80.000 (2e édition, 1933) et cette façon d'interpréter a été gardée pour la feuille Maiche au 1/50.000 (1964). Or, lorsqu'on vient du Nord, on trouve du Bathonien jusqu'au sommet de la colline, sans rencontrer ni Dalle Nacrée, ni Oxfordien, ni Argovien. La faille de Montoille, peu visible, sauf sur le flanc de la vallée du Dessoubre, met en contact des faciès très semblables du Bathonien et du Rauracien, au sommet de la colline.

La faille de Mouillevillers, dirigée Nord-Sud, débute près de l'extrêmité du synclinal de Châtillon-sous-Maiche, décroche horizontalement l'anticlinal de Fleurey, faillé à ce niveau, puis, au Sud, joue le rôle d'une faille à rejet vertical, et perd peu à peu de son importance à l'approche de la faille de Montandon. A ce niveau, son rejet est négligeable, puis il reprend au Sud une certaine valeur.

Le décrochement de St-Hippolyte nait dans le bois de Vaubierge sur la rive droite du Doubs. Il passe sous les alluvions pendant plus d'un kilomètre, et ressort sur la rive droite du Dessoubre pour passer au pied de la ferme de Soyère. Il vient se terminer contre une branche de faille issue de la faille de la Côte St-Hippolyte et qui va rejoindre la faille de Mouillevillers. Le décrochement de St-Hippolyte est accompagné d'une faille satellite qui se dirige plein Sud à la sortie de la petite ville et s'amortit presque aussitôt dans les calcaires du Jurassique moyen.

Le synclinal de Châtillon vient buter contre ce grand décrochement et ne reparait pas à l'Est. Il s'appuie sur le brachyanticlinal faillé du Pain de Sucre, à coeur liasique, et qui a moins d'un kilomètre de long. Cet accident orienté Est-Ouest infléchit sa direction vers le Sud-Est au contact du décrochement de St-Hippolyte. L'anticlinal de Fleurey est décroché de 750 m par l'accident de St-Hippolyte.

La faille du Grand Clos, de faible importance, est un accident satellite de la faille de Montandon, qui marque le changement de direction de cet accident.

La faille de la Combe Amiot, dirigée Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest, nait en arrière de la faille de Montandon, à l'Ouest du Pont de Fondereau. Elle marque la limite Ouest de l'anticlinal des Vacheresses, qui vient se terminer brusquement contre elle sans se retrouver au delà.

En jetant un regard d'ensemble sur les accidents de cette région, on aperçoit un réseau de failles Nord-Sud et d'unités tectoniques plus souples dans l'ensemble et dirigées Est-Ouest. Ce croisement de deux directions différentes donne au Dessoubre et au Doubs un tracé sinueux dont les méandres dessinent grossièrement des angles droits.

4°) Morphotectonique

A. CAIRE (1960) assimile la surface de Maiche à celle d'Ornans, c'est à dire qu'il la fait correspondre à la plus ancienne des deux phases d'érosion, la phase vindobonienne, et il démontre dans la région de Courtefontaine, située à l'Est du secteur étudié, que la phase chevauchante est antérieure à la formation de cette surface.

Dans la région située au Sud de la faille de Montandon, on reconnait très nettement une zone de "plateau" nivelée. Au Nord de cet accident, il semble difficile, étant donnée l'érosion structurale récente intense, de définir une ou

plusieurs surfaces d'érosion. Cependant sur la rive droite du Doubs, il semble bien que l'on puisse assimiler le plateau Rauracien-Séquanien à un élément de surface.

Certaines failles méridiennes semblent être postérieures, du moins en partie, à la surface d'érosion définie ici. La faille de la Combe Amiot est de celles-là. En effet, l'anticlinal des Vacheresses bouscule l'horizontalité du plateau et l'on peut affirmer qu'il est postérieur à la surface d'érosion. Or, du fait qu'on ne retrouve pas cet anticlinal à l'Ouest de la faille de la Combe Amiot, on est conduit à admettre que cet accident a rejoué postérieurement à la formation de la surface d'érosion.

De même, la faille de Froidevaux constitue la limite Ouest du synclinal de Châtillon, de l'anticlinal de Fleurey et du synclinal du Bois Chateillenot. A l'Ouest de cette faille, les couches sont nivelées. C'est la preuve que les trois unités tectoniques Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest ont rejoué postérieurement à la surface d'érosion.

Dans la côte de la Broche, on retrouve un petit lambeau de surface d'érosion qui se trouve chevauché par la faille de Montandon. Cet accident, peut-être vertical avant la formation de la surface d'érosion, s'est transformé en une faille-pli après l'élaboration de cette surface.

Il semble donc probable que l'on soit en présence de la surface d'érosion de Maiche, correspondant à celle d'Ornans, et antérieure à une phase de plissement importante.

On peut résumer ainsi l'histoire géologique de cette région. Une phase cassante se produit probablement à l'Oligocène, avec pour effet de créer les principales failles méridiennes (faille de Froidevaux et accident parallèle situé plus à l'Ouest, faille de Neuf-Gouffre et décrochement de St-Hippolyte, faille de la Combe Amiot) et quelques failles Est-Ouest (failles de la Côte St-Hippolyte et de Montandon).

Ensuite vient une phase d'érosion dont le résultat est l'élaboration de la surface de Maiche (phase vindobonienne).

Puis on est en présence d'une phase tectonique plissante équivalant à une poussée dirigée du Sud vers le Nord. C'est à ce moment que se mettent en place les anticlinaux et les synclinaux tels qu'on peut les observer à l'heure actuelle, ainsi que les failles-plis de la région. Les accidents méridiens déterminent alors des compartiments qui se plissent plus ou moins, en direction du Nord.

Il n'y a pas trace, aux environs de St-Hippolyte, de la seconde phase d'érosion, matérialisée dans la région bisontine par la surface de Montrond.

Au contraire, une érosion récente a dégagé les structures géologiques de cette région.

B - ETUDE DU PROJET DE BARRAGE

1°) Caractéristiques du projet

Déjà étudié dans le but d'une utilisation purement hydroélectrique, ce barrage a bénéficié d'un levé de M. LUGEON (1933) effectué avec A. BERSIER, et de rapports sur l'étanchéité de la retenue, par M. LUGEON (1931), P. FALLOT (1938), et M. ROBAUX (1938).

L'ouvrage hydroélectrique nécessitant obligatoirement une galerie d'amenée vers l'usine de Liebvillers, le seul emplacement possible serait le site de Neuf-Gouffre. Une utilisation comme ouvrage de régularisation laisse le choix entre cet emplacement et un second, à quelques centaines de mètres à l'amont, à hauteur du bois du Falot : l'ouvrage reposerait sur des marnes du côté de la rive gauche du Dessoubre dans ce dernier cas.

Le projet E.D.F. prévoyait un barrage de 45 m de haut, créant une retenue de 18.000.000 m3. Afin de ne pas noyer la RN 464, nous proposons seulement un ouvrage de 35 m de haut, 120 m de longueur de crête (250 m pour le site du Bois du Falot). La retenue, dont le plan d'eau serait situé à la cote 410, aurait une capacité totale de 16.000.000 m3. Seraient noyés : une ferme à hauteur du bois du Falot, les fermes du Pont de Fleurey, le restaurant de Morimaison, les fermes situées au Nord d'Orgeans, et la D 39 sur toute la longueur de la retenue.

Le débit moyen du Dessoubre (limnigraphe situé à hauteur du bois du Falot) est de 13,1 m3/s. Ce débit donne un temps de remplissage de 15 jours environ.

Le graphique d'exploitation des barrages (planche II) donne les indications suivantes : si l'on était en présence d'un étiage de 3 mois, soit 90 jours, on pourrait libérer à l'aval 1,9 m3/s en plus du débit d'étiage naturel, qui était de 1,5 à 0,6 m3/s en 1962. En amont du confluent, à St-Hippolyte, les valeurs correspondantes sont de 4 à 1,2 m3/s pour le Doubs.

2°) Etanchéité de la retenue

Rive gauche, l'étanchéité est assurée par l'anticlinal de Fleurey. Cette unité tectonique, dont le coeur est

constitué par les marnes du Lias, forme un barrage naturel. La carte structurale de la région de St-Hippolyte (planche VIII) qui donne l'altitude du sommet des marnes, montre qu'il est nettement au-dessus de la cote 410. P. FALLOT (1938) indique que les cotes du Lias se maintiennent au dessus de 450 m à l'Est de la faille de Froidevaux. Entre cette faille et le bord de l'anticlinal de la Grange existe un secteur de 3 à 400 m où, toujours selon P. FALLOT, le toit du Lias sera tangeant au plan 420. Cette zone située immédiatement à l'Ouest de la faille de Froidevaux est la plus dangereuse de la rive gauche du point de vue de l'étanchéité : il sera bon d'y vérifier par sondage la cote exacte du Lias marneux. L'exploration du Gouffre de Montaigu (x = 931,02 ; y = 264,20 ; z = 820 m) a montré un niveau à Polypiers, représentant le sommet du Bajocien inférieur, à la profondeur - 120 environ, ce qui correspond aux épaisseurs que nous avons données. Le fond du gouffre, à la profondeur - 205 (altitude 615 m) se situe très près des marnes. Cette constatation est conforme à ce que nous venons de voir à propos des cotes du Lias marneux.

Si l'on construit un barrage à hauteur du bois du Falot, l'ouvrage reposera directement sur les marnes. L'édification dans le site de Neuf-Gouffre nécessite la solidarisation du barrage et du noyau marneux de l'anticlinal par un voile d'injection, tel que celui que prévoit M. LUGEON (1931). Sa longueur serait de 350 m, sa profondeur moyenne d'environ 50 m, ce qui, si les forages sont équidistants de 8 m donnerait une longueur de forage maximale de 2.400 m.

Sur rive droite, la question est plus complexe. La faille de la Côte St-Hippolyte relève les terrains, et le Lias y est à la cote 500 ou plus. Il faudrait donc prévoir un voile différent de celui prévu par M. LUGEON. A partir d'un tunnel creusé à la cote 410 (cote de la retenue) et allant du site du barrage (à Neuf-Gouffre ou à hauteur du Bois du Falot) à la faille de la Côte St-Hippolyte, on pourrait forer pour l'établissement d'un voile. Cet écran étanche aurait 1.000 à 1.100 m de long, 80 à 100 m de profondeur, ce qui, avec une équidistance de 8 m entre les forages donnerait une longueur maximale de 12.500 m.

Un tel voile d'injection, sur rive droite surtout mais aussi sur rive gauche représenterait un travail très important. Mais M. LUGEON prévoit qu'il sera peut-être possible d'augmenter l'équidistance entre les forages notamment en augmentant la pression d'injection de ciment à 40 et 50 kg. D'autre part, il pense que l'on peut édifier le barrage, et réaliser ensuite le voile si cela s'avère nécessaire. On pourrait alors s'apercevoir de cette obligation par une surveillance vigilante de toutes les sources à l'aval.

Pour la rive droite du Dessoubre, P. FALLOT émet une autre réserve. Les eaux de la retenue pourront s'échapper, au Sud de l'anticlinal des Vacheresses, par le synclinal des Bréseux-Thiébouhans. Nous pouvons ajouter, à l'examen de la carte structurale, que ces eaux pourront fuir par le synclinal qui s'étire entre la faille de Montandon et l'anticlinal des Vacheresses. Mais nous sommes là à 3 km des parties de la retenue qui pourraient alimenter des fuites, ce qui fait penser à P. FALLOT que les risques sont faibles vu la perte de charge à prévoir.

La création de la retenue aura pour effet de noyer la source du Bief de Bran. Cette résurgence, dont toutes les tentatives d'exploration spéléologique sont restées vaines, jaillit à la limite Grande Oolite - Bajocien inférieur. Une grande partie du plateau de Maiche semble alimenter cette source, ainsi que celle de Soulce-Cernay. M. ROBAUX a étudié la question en détail. Il préconise d'essayer de préciser la ligne de partage des eaux entre ces deux exutoires, par plusieurs expériences de coloration. Mais rien ne prouve qu'après mise en charge de la résurgence du Bief de Bran par création de la retenue, les eaux ne changeront pas de sens dans les galeries qui communiquent avec cette source, ce qui aurait pour effet de faire du Bief de Bran une GALERIE ABSORBANTE, les eaux ressortant à Soulce-Cernay ou ailleurs. La deuxième suggestion de M. ROBAUX est infiniment intéressante : il s'agit d'effectuer une mise en charge artificielle de la résurgence du Bief de Bran et d'observer les sources de la région et les environs immédiats. Une telle expérience, avec l'utilisation de la méthode de corrélation des débits que nous avons énoncée au début de cette thèse, s'avèrerait fructueuse, dans la mesure toutefois où les eaux"injectées" dans la source ne ressortiraient pas au voisinage immédiat (trop grande fissuration des calcaires).

3°) Stabilité du barrage

Deux emplacements sont possibles :

Le site de Neuf-Gouffre est situé sur les calcaires du Jurassique moyen, affectés d'un léger amont pendage. La base de l'ouvrage s'appuierait sur les calcaires à entroques du Bajocien inférieur, altérés en surface : il serait nécessaire de creuser jusqu'au calcaire sain qui se trouve à une faible profondeur. Sur rive gauche, le barrage s'appuierait contre les falaises du Bajocien inférieur et de la Grande Oolithe. Sur rive droite, il serait adossé aux calcaires du Bajocien inférieur. De ce côté, on rencontrerait sans doute une importante zone mylonitisée due à la présence d'une faille Est-Ouest faisant partie de l'anticlinal de Fleurey. Il n'y aurait pas d'alluvions à décaper. La meilleure formule consisterait sans doute là à édifier un barrage poids.

Le site du Bois du Falot ne nécessiterait pas de voile d'étanchéité rive gauche, contrairement au site précédent, l'ouvrage étant appuyé sur les marnes du Lias de ce côté. Il serait nécessaire de décaper les alluvions, sans doute assez peu épaisses et les éboulis, surtout importants sur rive gauche. De façon à enlever le moins d'éboulis possible, on pourra construire un barrage en enrochement à noyau étanche : seul le noyau étanche irait jusqu'au substratum imperméable, le reste de l'ouvrage étant appuyé sur les éboulis. Ce procédé limiterait le volume à enlever d'une façon considérable. Sous les alluvions on rencontrerait une zone mylonitisée due à la faille de Neuf-Gouffre. Sur la rive droite, le barrage s'appuierait sur les calcaires du Jurassique moyen. Il serait bon de choisir l'emplacement de manière à éviter la faille de Montoille. Ce site nécessite la construction d'un barrage en terre, l'évacuateur de crue utilisant la rive droite calcaire.

4°) Conclusion pratique

Cette retenue de 16.000.000 m3 risque de nécessiter la création d'un voile d'injection important dans les calcaires. Une étude plus précise peut permettre d'en définir les caractéristiques précises et donc le coût exact.

L'aménagement du canal du Rhône au Rhin à grand gabarit et l'accroissement de la concentration urbaine Belfort-Montbéliard risquent de rendre cette retenue nécessaire dans un avenir relativement proche.

V - LE BARRAGE DE ROSUREUX

-------oOo-------

A - ETUDE GEOLOGIQUE

1°) Situation

Les environs de la retenue à créer ont été levés, ainsi que la région située à l'aval, à l'échelle du 1/20.000. Ce secteur est situé sur les feuilles Maiche 6 et 7. Il est limité au Nord par le sommet de la carte Maiche 7, au Nord-Ouest par les localités de Charmoille, Longevelle-les-Russey, Bretonvillers, à l'Ouest par le confluent du Dessoubre et de la Reverotte, au Sud par les localités de Plaimbois-du-Miroir, Bonnétage, St-Julien-les-Russey, à l'Est par la limite de la feuille Maiche 7.

2°) Stratigraphie

Les terrains du Jurassique moyen, bénéficient d'une bonne coupe, observable dans la tranchée de la D 39, en aval de Rosureux. Les étages du Jurassique supérieur sont au contraire très difficile à délimiter, les affleurements étant souvent fragmentaires.

1 - Bajocien inférieur J^{1a}

De la faille de la Côte du Dessoubre au bois du Gouffre du Moulinot, on peut observer, le long de la D 39, la coupe suivante de bas en haut :

- Calcaire oolitique à stratifications entrecroisées... 2,00 m
- Calcaire bleu à Polypiers isolés ou coloniaux..... 0,90 m
- Calcaire bicolore bleu et ocre à nombreux débris de coquilles, en petits bancs..... 1,20 m
- Calcaire graveleux à débris roulés de coquilles; Polypiers coloniaux..... 1,20 m
- Calcaires oolitiques, avec gravelles, entroques roulées 8,60 m
- Banc calcaire entièrement constitué de Solénopores... 0,15 m

- Calcaire oolitique, à entroques et gravelles ; Polypiers coloniaux..... 1,30 m
- Calcaires oolitiques, comportant au sommet de nombreuses Momies..... 3,00 m

C'est à partir de ce niveau que l'on ne rencontre plus de Polypiers. La relative constance du banc à Momies nous a conduit à le choisir comme sommet du Bajocien inférieur.

2 - Bajocien supérieur J^{1b}

En continuant la coupe précédente, on rencontre de bas en haut :

- Calcaire à oolites de taille très variable, rappelant certains faciès du Rauracien..... 9,00 m
- Calcaire oolitique bicolore bleu et ocre avec de rares entroques, en gros bancs séparés par des joints marneux de 0,1 à 5 cm..... 5,00 m
- Marnes et calcaires marneux à Pholadomyes..... 0,50 m
- Calcaire oolitique bicolore, à oolites subsphériques 13,95 m
- Marnes ocres feuilletées à grosses coquilles de Lamellibranches..... 0,10 m
- Calcaire oolitique bicolore, à débris roulés..... 3,00 m
- Alternance de marnes ocres et calcaires blancs à nombreuses Homomyes et Terebratula pseudomaxillata MUIR-WOOD (déterminations A. ROLLET)..... 1,08 m
- Calcaire blanc à entroques, avec traces rouilles, en un seul banc..... 1,05 m
- Calcaire oolitique bicolore, à petits lits marneux intercalés à la base..... 3,00 m
- Marnes feuilletées à Bryozoaires..... 0,08 m
- Calcaire oolitique bicolore..... 0,43 m
- Marnes feuilletées..... 0,08 m
- Calcaire bicolore à oolites diffuses..... 5,00 m

Telle est la coupe complète que l'on peut faire à travers la Grande Oolite dans cette région. On peut lui attribuer une épaisseur de 30 à 40 m selon les points.

3 - Bathonien J^{2}

La même coupe se poursuit à travers les formations de cet étage, qui sont, de bas en haut :

- Calcaire blanc à gravelles diffuses, riche en petits débris de fossiles au sommet..... 2,50 m
- Calcaire cryptocristallin, bicolore à certains niveaux uniformément ocre à d'autres, avec joints stylolithiques, en bancs massifs..... 11,80 m
- Lit de marnes verdâtres..... 0,06 m
- Calcaire cryptocristallin blanc, à cassure conchoïdale..... 5,00 m
- Calcaire graveleux avec Bryozoaires et Momies au sommet, ces divers éléments étant disposés selon des lits au sein de la masse de calcaire..... 4,71 m

Le niveau à Momies du sommet doit être assez constant, car il se retrouve au Sud du secteur étudié, au Sud-Ouest du lieu dit Les Perrins.

Le passage de la Dalle Nacrée au Bathonien compact est toujours masqué dans cette région.

L'épaisseur du Bathonien est de 25 à 30 mètres.

4 - Callovien J^3

Des calcaires oolitiques bicolores bleus et bruns, en dalles de 3 à 30 cm, constituent le faciès typique de la Dalle Nacrée dans le secteur étudié. Au Sud, dans la région de Mont-de-Laval et Laval-le-Prieuré, cette formation présente de nombreux replis dysharmoniques, observables dans les tranchées de routes, en plusieurs endroits. On peut lui attribuer une épaisseur de 25 m.

5 - Oxfordien J^4

Il s'agit de marnes à fossiles pyriteux, visibles en particulier dans le lit du Dessoubre, à l'emplacement du site de barrage, en amont de Rosureux. Son épaisseur semble être de 60 m environ.

6 - Argovien J^5

Aux environs de Rosureux, on peut observer plusieurs coupes qui permettent de décrire le passage des marnes oxfordiennes aux calcaires.

En bordure de la D 39, dans la Côte du Jet au Meneguin, on peut distinguer de bas en haut, au dessus des marnes bleues qui deviennent peu à peu brunâtres :

- un banc de calcaire grumeleux, bleu au centre, ocre en surface..... 0,40 m

- Marnes brunâtres feuilletées, encadrant des bancs de calcaire gris-bleu de 10 à 20 cm d'épaisseur..... 0,75 m
- Marnes brunes à Pholadomyes et Térébratules alternant avec des bancs de calcaires marneux..... 4,85 m
- Calcaires marneux, en bancs séparés par des lits de marnes feuilletées..... 4,10 m
- Marnes bleues..... 0,60 m
- Calcaires marneux à traces rouilles, avec quelques chailles à contours flous..... 0,40 m
- Marnes bleues feuilletées..... 0,45 m
- Calcaires grumeleux ocres à chailles, avec lits marno-calcaires feuilletés contenant des Pholadomyes et Collyrites cf. elipticus (détermination J. BLAISON)..... 7,50 m
- Calcaires grumeleux gris à intercalations marno-calcaires feuilletées..... 4,70 m
  (à ce niveau se situe l'exutoire de la résurgence du Jet au Meneguin, dont les galeries se développent à hauteur du niveau suivant).
- Calcaires grumeleux tendres à radioles d'oursins et Terebratula bourgneti ETALLON qui marquent la base du Rauracien..... 3,10 m

C'est dans les niveaux de passage de l'Argovien marneux à l'Argovien calcaire, à l'Ouest de Plaimbois-du-Miroir (x = 926,05 et y = 252,42), qu'ont été trouvés des restes fossiles, que M. DREYFUSS attribue à une espèce végétale voisine du genre Cycas.

L'Argovien a une épaisseur totale de 40 m.

7- Rauracien J^6

Dans la coupe du Jet au Meneguin, au dessus du niveau cité plus haut, on rencontre une falaise constituée de calcaire cryptocristallin à points blancs, avec des Polypiers isolés, des Bryozoaires et des Lamellibranches. Dans la partie Sud-Ouest du secteur étudié, existe un faciès oolitique bien marqué : on ne rencontre pas de telles formations dans la région de Rosureux. Toutefois, dans la falaise de Jurassique supérieur qui domine cette localité au Nord, on trouve un niveau graveleux avec quelques oolites de grande taille, dans lequel ont été récoltés les fossiles suivants :

Natica grandis MUNSTER

Nerinea clio d'ORB. (déterminations A. ROLLET)

Diceras arietinum (détermination J. BLAISON)

On peut attribuer au Rauracien une épaisseur de 50 m.

Au dessus, il n'existe pas de coupes continues dans ce secteur, mais seulement des affleurements isolés, la majeure partie des bancs étant masquée par des éboulis.

8 - Séquanien J^7

Dans des calcaires situés à 90 m au dessus de la limite Argovien-Rauracien, au Nord de Rosureux, une lame mince a révélé la présence de Pseudocyclammines. Ce foraminifère a été retrouvé dans le Séquanien en un autre point. On trouve en de nombreux endroits des marnes blanches généralement stériles, mais deux gisements ont fourni "Zeilleria" egena BAYLE (détermination A. ROLLET).

Le Séquanien a une épaisseur approximative de 80 à 100 m selon les points.

9 - Kimméridgien J^8

Pterocera oceani a été trouvé dans une vire de calcaire marneux située dans la falaise d'Hauteroche.

Le Kimméridgien inférieur est formé de bancs calcaires alternant avec des lits marno-calcaires irréguliers.

La base des calcaires virguliens affleure à Lotrot-dessous et dans la partie Sud-Ouest du secteur étudié, où le Kimméridgien supérieur a été séparé de la partie inférieure de l'étage, ces deux subdivisions étant notées J^{8a} et J^{8b}. Un niveau à petits Rudistes, constant dans cette zone, sert à marquer le sommet du J^{8a}.

10 - Formations superficielles

Il existe de très importants éboulis sur les deux versants de la vallée du Dessoubre. Ils proviennent de la désagrégation des falaises du Jurassique supérieur. Des éboulis calibrés du type "groise" existent au Sud-Ouest de Plaimbois-du-Miroir.

Il est nécessaire de signaler, au Nord-Ouest de Rosureux, au pied de la falaise kimméridgienne d'Hauteroche, une série de paquets glissés de grandes dimensions. Les deux paquets Est sont constitués en majeure partie d'Oxfordien et sont coiffés par un sommet d'Argovien calcaire : les différentes strates y sont reconnaissables. Les quatre autres paquets sont formés de calcaires : leur surface est recouverte de blocs éboulés. En arrière des paquets situés à l'Est, existe un cône d'éboulis qui s'apparente à la "groise". Le paquet situé au Nord-Ouest, immédiatement en dessous de la falaise d'Hauteroche, est séparé

de cette dernière par un réseau de diaclases de 2 m de large et plus de 5 m de haut par endroits. Au pied de ces paquets glissés, en bordure du Dessoubre, existe une zone d'éboulis de très gros calibre.

Les alluvions du Dessoubre sont assez réduites. Les alluvions actuelles (Fz) sont formées de petits galets et surtout de graviers et sable calcaires. Il existe une terrasse d'alluvions qui domine le lit majeur de 2 à 4 m. Leur composition est sensiblement la même. Elle ont été cartées Fy. Dans la région du Gigot, on ne trouve plus une terrasse Fy bien développée comme immédiatement à l'amont de Rosureux. Il existe seulement quelques lambeaux accrochés au flanc de la vallée, dont deux sont constitués de galets consolidés, à la scierie de Belvoir et au Val, tous deux sur rive gauche.

Les dépôts de tufs sont surtout importants à l'amont du secteur étudié.

3°) Tectonique

La région étudiée comprend trois parties bien distinctes que nous étudierons successivement:

- Au Nord une zone de plateau recoupée pár quelques accidents de direction méridienne.

- Immédiatement au Sud du Dessoubre et parallèlement à lui, la zone chevauchante du Dessoubre dirigée Nord-Est - Sud-Ouest.

- Au Sud une zone de plateau déformée postérieurement à la surface d'érosion qui lui a donné grossièrement sa physionomie.

1 - La zone tabulaire du Nord

L'anticlinal de la Joux, au Nord du secteur étudié, est dirigé Nord-Est - Sud-Ouest. Son coeur est formé de Jurassique moyen.

Le synclinal de Rosureux est une vaste zone de plateaux dont les pendages sont très faibles. Le flanc Nord s'appuie sur l'anticlinal de la Joux et le flanc Sud se trouve sous la première faille chevauchante située au Sud du Dessoubre. Entre ces deux accidents, la zone synclinale, d'abord étroite au niveau du Saucet (2 à 3 km), va en s'élargissant pour atteindre 7 km à hauteur de Rosureux. Ce secteur est recoupé par quelques failles Nord-Sud.

La faille du Gigot se trouve exactement sur le tracé du Dessoubre, au moment où ce dernier atteint son confluent

avec la Reverotte. Elle détermine un compartiment Ouest abaissé de 10 à 15 m et un compartiment Est relevé.

La faille du Gouffre d'Arpan, dirigée Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest, a un rejet maximum de 10 m. Dans la tranchée de la D 125, on peut observer dans un virage en lacet son passage dans les calcaires kimméridgiens, où elle détermine une zone broyée complexe entre deux failles parallèles. La feuille géologique Maiche au 1/50.000 prolonge cet accident jusqu'à l'anticlinal de la Joux.

La faille de Charmoille, de direction méridienne, nait à proximité du Dessoubre. Il a été impossible de la mettre en évidence sur rive droite. Son rejet au Sud de Charmoille reste peu important, mais elle détermine sur son parcours une dénivellation de 2 à 5 m dans la surface du plateau. Au Nord de Charmoille (x = 927,85 et y = 259,64), ce rejeu postérieur à la phase d'érosion du plateau a même coupé une vallée sèche par une dénivellation de plus de 5 m, bien visible à 20 m à l'Est de la D 206.

La faille de Froidevaux, parallèle à la précédente, est peu visible sur la rive droite du Dessoubre, où elle vient se perdre sous la première faille chevauchante. Après être passée, sur rive gauche, sous la zone de paquets éboulés, où elle met en contact l'Argovien inférieur à l'Ouest et l'Oxfordien à l'Est, elle devient bien visible dans la falaise qui domine Rosureux, où l'on voit le Kimméridgien d'Hauteroche en contact avec le Séquanien. Au Nord, elle détermine une dénivellation dans la surface du plateau, de même sens et approximativement de même valeur que le rejeu de la faille de Charmoille. A hauteur de Vaucluse, cet accident met en contact l'Argovien à l'Ouest et la Dalle Nacrée à l'Est. Elle se prolonge vers le Nord où elle a été étudiée à propos du projet de St-Hippolyte.

La faille de la Côte du Dessoubre, de direction Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest, semble être le prolongement de la grande faille de Montandon. On commence à la suivre au Sud de Battenans, où elle sort sous les alluvions. Elle recoupe perpendiculairement la vallée du Dessoubre, où elle montre une inclinaison de près de 45°. Puis elle se tord en direction de l'Ouest-Sud-Ouest pour venir buter contre la faille de Froidevaux. Sur le plateau de Charmoille, tout comme les deux accidents énumérés précédemment, elle détermine une discontinuité dans la surface d'érosion, correspondant à un rejeu récent de 5 m environ, le compartiment Nord étant celui qui est abaissé.

La faille de Mont-de-Vougney, dirigée Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest, a un faible rejet et une faible extension. Au Sud, elle vient mourir dans les marnes oxfordiennes, au pied de la zone chevauchante.

2 - La zone chevauchante

La faille de la Côte Barbier, inclinée à la verticale en profondeur et presque horizontale en altitude, et la faille de la Scierie Girardot, qui se trouve en arrière de la première, déterminent une écaille qui se poursuit sur 8 km, et dont les pendages sont verticaux jusqu'au niveau de Rosureux. La faille de la Côte Barbier nait dans le coeur du synclinal de Rosureux, dont le flanc Sud est redressé à la verticale à hauteur de N.D. des Erauges. L'anticlinal qui se trouve immédiatement au Sud se coffre puis se casse et donne naissance à la faille de la Scierie Girafdot. Entre ces deux accidents, les terrains verticaux déterminent très nettement un compartiment qui se retrouve jusqu'au niveau de Rosureux. Ce compartiment est décroché une première fois au Sud de la faille du Gouffre d'Arpan, comprend tout d'abord des terrains allant du Rauracien au Kimméridgien, le Séquanien déterminant une combe. Puis on n'y trouve que du Kimméridgien vertical, et les trois étages reparaissent à hauteur du Bois Jean Chara, où ils sont bien visibles, au Nord du Cul de la Fosse. Enfin, ce compartiment reparait une dernière fois, sous forme de Séquanien pendant à 20° Nord-Ouest, où "Zeilleria" egnna BAYLE à été trouvée. A ce niveau, au lieu dit les Grandes Planches, le rejet des deux failles s'est considérablement amorti, et les couches verticales sont devenues peu inclinées : la totalité de l'accident s'amortit dans le Séquanien, sous les éboulis, au Sud-Est de Rosureux.

A hauteur d'Essart-Laguenne, la faille de la Scierie Girardot supporte des couches chevauchantes subhorizontales qui passent rapidement à une charnière synclinale qui met le Kimméridgien vertical. Cette charnière se poursuit à l'Est, où elle se casse très vite pour donner naissance à un nouvel accident chevauchant qui prend en relais le précédent : la faille de Lotrot-Dessous. Légèrement inclinée vers le Nord, elle est suivie, en arrière et parallèlement à elle, par un léger mouvement anticlinal, dont le coeur est constitué d'Argovien marneux à Pholadomyes au lieu-dit au Racel, puis de Rauracien oolitique jusqu'au Sud des Grandes Planches. Là, dans le Séquanien, on assiste à un mouvement de bascule des couches, provoqué par la proximité de plus en plus grande du synclinal à coeur Séquanien et surtout de l'anticlinal qui se trouvent immédiatement au Sud. Ainsi un mouvement synclinal et un bombement anticlinal disparaissent, pour ne plus constituer que le flanc Nord, relevé à la verticale, de l'anticlinal de la Barre. A hauteur de Lotrot-dessous, ces couches pendent à 90° avec même quelques pendages renversés, du Kimméridgien à l'Argovien, le Séquanien constituant une combe rectiligne au niveau de Lotrot-dessus. Une combe oxfordienne droite et profonde, au fond de laquelle se trouve la ferme en ruine de la Rançonnière forme la transition avec le Jurassique moyen affecté d'un pendage de 45° Nord-Ouest.

A hauteur du Mont Olivat, l'accident se dédouble. Tandis que la faille chevauchante de Lotrot-dessous supporte toujours un compartiment de Jurassique supérieur vertical, elle chevauche un compartiment formé d'un petit synclinal suivi au Nord d'un bombement anticlinal, chevauchant le Kimméridgien horizontal par un accident, localisé à cet endroit, que nous appellerons la faille du Mont Olivat.

La faille de Lotrot-dessous se poursuit vers le Nord-Est, où elle constitue le coeur d'un synclinal, mettant en contact, à l'Est de Mont-de-Vougney, le Kimméridgien vertical et horizontal.

Toujours à hauteur du Mont Olivot, où la structure de la zone chevauchante se complique beaucoup, une faille nait à la limite de l'Oxfordien et du Callovien verticaux : l'accident de Sur-la-Roche. Le compartiment de Jurassique moyen ainsi isolé se casse en deux à mi-hauteur.

- la partie supérieure reste verticale et constitue la falaise bathonienne de Sur-la-Roche, où les couches ont un pendage de 80° Nord.

- la partie inférieure effectue un mouvement de bascule et se trouve, au pied de Sur-la-Roche, en position normale avec un pendage voisin de l'horizontalité.

Ainsi, à cet endroit, le Bathonien subvertical repose sur le Bathonien horizontal. Le premier compartiment se retrouve au Nord-Est, où il est composé des couches du même étage, affectées d'un pendage de 70° Nord-Nord-Ouest. Quant au Jurassique moyen peu incliné, il se poursuit, séparé du compartiment de Jurassique supérieur vertical situé plus au Nord par une faille qui s'amortit peu à peu.

A l'Ouest du lieu dit le Piot, nait un accident dirigé Nord-Est - Sud-Ouest : la faille du Piot. Elle met en contact un compartiment abaissé au Sud (Dalle Nacrée ou Oxfordien) avec le Bathonien au Nord. Légèrement décrochée au niveau de St-Julien-dessous, son rejet s'inverse au Nord-Est, près de Sur-la-Roche, puis reprend son sens initial.

Enfin, il nous faut revenir à la partie Sud-Ouest du terrain étudié. Au Sud de la Scierie Girardot, le premier accident chevauchant est suivi au Sud par un second, bien visible dans la tranchée de la D 39, et qui ne semble pas se prolonger sur une grande distance. Une première faille précède l'anticlinal chevauchant, dont le coeur est constitué de Grande Oolite, puis vient une seconde faille légèrement inclinée. L'ensemble vient buter contre la faille de Laval-le-Prieuré.

3 - La zone peu déformée du Sud

La faille de Laval-le-Prieuré, dirigée Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest, nait dans l'Oxfordien, au Sud de cette localité et vient buter au Nord contre la faille de la Scierie Girardot, sans se prolonger au delà.

La faille de la Roche du Miroir, parallèle à la précédente, vient du Sud et s'infléchit doucement pour venir couper en biseau la faille de la Scierie Girardot. Avec l'accident précédent, la faille de la Roche du Miroir détermine un compartiment abaissé. Au Nord-Ouest de Plaimbois-du-Miroir, un petit accident satellite accompagne l'infléchissement de la faille de la Roche du Miroir.

La faille de Plaimbois, dirigée Nord- Nord-Est - Sud-Sud-Ouest, est bien visible du fait que l'anticlinal de la Barre vient buter contre elle, et que les pendages du flanc Sud de cette unité tectonique tournent progressivement au contact de la faille.

L'anticlinal de la Barre, dirigé Nord-Est - Sud-Ouest, est décroché par une série d'accidents parallèles à la faille de Plaimbois-du-Miroir. Compliqué au Nord-Est par la faille du Piot, il est très légèrement décroché au niveau de St-Julien-dessous par un accident Nord-Nord-Ouest - Sud-Sud-Est qui se prolonge jusqu'à la faille de Lotrot-dessous.

Tout l'intérêt tectonique de cette région réside dans l'étude de la zone chevauchante du Dessoubre, et des relations entre les plateaux situés au Nord et ceux du Sud.

4°) Morphotectonique

Bien qu'il n'existe apparemment pas de dépôts de surface d'érosion, un nivellement très net est observable.

En ce qui concerne la zone chevauchante, des lambeaux de surface apparaissent immédiatement au Nord, que ce soit sous la faille de la Côte Barbier, où ces lambeaux ont une altitude de 700 m environ aux deux endroits où on les trouve, ou sous la faille de Lotrot-dessous, avec 740 m au Cul de la Fosse, au Nord de la Rochotte, 760 à Lotrot-dessous, 770 au Mont Olivot.

Au Nord de la zone chevauchante, la surface d'érosion est largement représentée, déformée au Nord-Ouest par l'anticlinal de la Joux, qui a joué postérieurement, et par le rejeu récent de la faille de Charmoille, de celle de

Froidevaux et de celle de la Côte du Dessoubre, rejeu voisin de 5 m. Son altitude est de 700 m environ.

Au Sud de la zone chevauchante, on retrouve les témoins de cette surface presque partout, au voisinage de l'altitude 850. L'anticlinal de la Barra a rejoué postérieurement à l'élaboration de cette surface. Il était déjà formé antérieurement, car à l'Ouest de la faille de Plaimbois-du-Miroir, dans l'axe de l'anticlinal, on retrouve un léger bombement, nivelé par la surface d'érosion, et se dirigeant vers l'Ouest-Sud-Ouest.

On peut donc formuler à Rosureux les mêmes conclusions qu'à St-Hippolyte. Il y a d'abord eu, sans doute à l'Oligocène mais aussi postérieurement, une phase cassante génératrice d'accidents méridiens, et également de failles et de faibles plis dirigés Nord-Est - Sud-Ouest. Puis, au Vindobonien, se place une phase d'érosion ayant donné naissance à une surface appelée localement surface de Maiche. Ensuite sont intervenus les mouvements chevauchants ainsi que les plissements majeurs de la région. Certaines failles Nord-Sud ou voisines de cette direction, telle que la faille de Plaimbois-du-Miroir, ont séparé des compartiments affectés par ces plis d'autres zones qui n'ont pas bougé. Certaines de ces failles, celle de Froidevaux par exemple, ont réagi ainsi dans certains secteurs (avec le synclinal de Châtillon-sous-Maiche et l'anticlinal de Fleurey), se contentant de présenter dans d'autres secteurs un très faible rejet, qui reste visible à l'heure actuelle dans la surface du plateau et sur le trajet de vallées sèches, comme au Nord de Charmoille.

B - ETUDE DU PROJET DE BARRAGE

1°) Caractéristiques du projet

Une digue en terre de 10 m de haut, reposant sur les marnes de l'Oxfordien, déterminerait un plan d'eau dont la cote maxima serait de 456 m. 400.000 m3 seraient retenus derrière ce barrage. Il n'existe pas d'habitations noyables avant les quelques fermes du Val, au Sud de Bretonvillers : les maisons dont l'altitude est supérieure à la cote de la retenue y seraient préservées, et seules celles qui sont situées en bordure de la route seraient noyées, soit en tout deux ou trois fermes. Deux petites maisons de plaisance seraient également touchées, ainsi que la D 39 sur toute la longueur de la retenue. L'eau monterait jusqu'au pont du Gigot, situé à la cote 457.

Il n'existe pas de limnigraphe dans la région du Haut Dessoubre, mais on peut estimer le débit moyen à Rosureux à 3 m3/s, ce qui représente un temps de remplissage de moins de 2 jours.

Etant donnés les petits débits, on ne peut réaliser là qu'un barrage d'appoint. Toutefois, ce projet est intéressant pour son coût relativement faible.

Le graphique d'exploitation des barrages (pl. II) montre que 0,05 m3/s seulement pourraient être déversés à l'aval en plus du débit naturel, pendant un étiage de 90 jours, soit 3 mois. On voit qu'il s'agit d'un appoint assez négligeable, que pourrait peut-être renforcer une retenue créée à hauteur de la Scierie Girardot. Nous étudierons cette possibilité à la fin de ce chapitre.

2°) Etanchéité de la retenue

Le site du barrage se situant dans le coeur du vaste synclinal de Rosureux (pl. IX), l'étanchéité est facilement assurée pour une retenue à la cote 456. Toutefois, il est nécessaire de ne pas appuyer l'ouvrage à l'Ouest de la faille de Froidevaux : les eaux de la retenue pourraient alors s'échapper dans les calcaires argoviens, et ainsi passer sous les paquets éboulés qui se trouvent sur rive gauche : la résurgence du Jet au Meneguin prouve que l'on a là un niveau de circulation karstique. Il est donc nécessaire d'appuyer l'ouvrage sur les marnes oxfordiennes, à l'Est de la faille de Froidevaux : la présence des éboulis calcaires oblige soit à les décaper soit à solidariser l'ouvrage au substratum.

3°) Stabilité du barrage

Il est construit sur les marnes et les éboulis : une digue en terre est donc nécessaire. Si le matériau convient, on peut prendre directement, pour construire l'ouvrage, les marnes oxfordiennes que l'on trouve en abondance dans les deux paquets glissés situés à l'Est. L'évacuateur de crue pourrait s'appuyer, sur rive gauche, sur les éboulis de très gros calibre qui bordent le Dessoubre.

4°) Le barrage de la Scierie Girardot

Situé immédiatement à l'amont de la retenue projetée, un ouvrage pourrait être édifié immédiatement à l'aval de la Scierie Girardot, noyant cette dernière ainsi que les trois maisons attenantes.

Ce barrage pourrait être appuyé sur les calcaires rauraciens redressés à la verticale à cet endroit, l'étanchéité étant assurée par la solidarisation de l'ouvrage avec les marnes oxfordiennes situées immédiatement à l'amont.

Il pourrait s'agir d'une digue de 50 m de haut, créant un plan d'eau à la cote 510, qui remonterait jusqu'au séminaire de Consolation, noyant, dans ce cas particulier, quelques fermes du bas de Laval. Une telle retenue aurait une capacité de moins de 2.000.000 m3, ce qui est à la fois peu pour justifier une telle dépense, et beaucoup par rapport au débit de la rivière qui est près de sa source à cet endroit, en amont du confluent avec la Reverotte.

Un tel projet laisse donc des possibilités moins grandes pour l'exploitation, les remplissages efficaces ne se faisant qu'en période de crue.

5°) Conclusion pratique

Le petit barrage de 400.000 m3 de Rosureux, peu onéreux, ne peut sans doute constituer qu'un complément dans un projet d'équipement à l'échelon régional. Toutefois, son prix de revient étant directement fonction des conditions d'étanchéité, il s'est avéré indispensable d'étudier une vaste région, complexe du point de vue tectonique. Cette étanchéité naturelle ne faisant aucun doute, ce projet n'est peut être pas à exclure, surtout dans un plan d'aménagement d'un secteur réduit de la région étudiée ici.

Le barrage de la Scierie Girardot semble moins intéressant.

VI - LES AUTRES BARRAGES REALISABLES

---oOo---

A - LE BARRAGE DE MOUTHIER

1°) Etude géologique

1 - Situation

Toute la région où se place la retenue projetée, ainsi que la vallée de la Loue située à l'amont, ont été levées au 1/20.000, sur les feuilles d'Ornans 6 et Ornans 7. Limité aux pentes qui surplombent la rivière, de Mouthier à la faille qui passe à proximité de la résurgence, ce secteur est encadré par Renédale au Sud, la Creuse et la Grange de la Baume à l'Est, Mouthier au Nord, et la Grange Carré à l'Ouest.

2 - Stratigraphie

Du fait de la complexité tectonique du secteur étudié, et du fait de son extension réduite, les coupes effectuées sont très incomplètes, mise à part celle effectuée dans le Jurassique supérieur, dans la tranchée de la RN 67 à hauteur des Gorges de Nouailles.

Le Sinémurien (l^3) est constitué par des calcaires à Gryphea arcuata. Il affleure à l'aval de Mouthier, sur la rive gauche de la Loue. Il parait avoir une épaisseur de 10 m, ou peut-être moins.

Le Charmouthien et le Toarcien (l^{5-4}) forment un ensemble marneux qui affleure très mal, avec un niveau de schistes correspondant à la base du Toarcien. Ce sont des pentes herbeuses irrégulières, constituant l'essentiel de la topographie immédiatement à l'amont de Mouthier, et au Sud-Ouest.

L'Aalénien (l^6) débute par des marnes micacées qu'il est impossible de séparer des marnes toarciennes. Par contre, au-dessus, affleurent des calcaires ferrugineux à entroques, peu épais, où a été trouvé en abondance Ludwigia murchisonae (notice de la feuille géologique Ornans au 1/50.000 par M. DREYFUSS).

Le Bajocien (J^1) est formé à sa base de calcaires à entroques, surmontés par un faciès de calcaires gris-bleu en gros bancs séparés par des lits marno-calcaires feuilletés : l'ensemble de ces deux formations a été désigné par le symbole J^{1a}. Au dessus, on rencontre des calcaires oolitiques qui représentent le faciès "Grande Oolite" (J^{1b}).

Le Bathonien (J^2) : cet étage, ou du moins une partie seulement, est constitué par des calcaires sublithographiques en bancs massifs, qui forment le sommet de la falaise du Jurassique moyen.

Le Callovien (J^3) est constitué par des calcaires à entroques, formant ce qui est appelé la Dalle Nacrée. Ce niveau est souvent caché sous les marnes oxfordiennes qui se trouvent au dessus, ou sous les éboulis de Jurassique supérieur, si bien que les affleurements sont rares : au Nord de la Grange de la Baume par exemple. C'est pour cette raison que cet étage a été fréquemment omis.

L'Oxfordien (J^4), représenté par des marnes bleues, marque une combe dans la topographie, mais affleure rarement, étant recouvert par des éboulis de Jurassique supérieur ou des formations de tufs.

L'Argovien (J^5), est lui aussi peu visible pour la même raison, dans le secteur étudié. C'est pourquoi il a été groupé presque partout avec l'Oxfordien, sauf au point où il affleure (Est de la Grange Carré), sous forme de calcaires gris en bancs isolés par des lits de calcaires marneux feuilletés.

Le Rauracien (J^6) constitue la base de la falaise qui domine l'ensemble Oxfordien-Argovien, le sommet de cette falaise étant représenté par le Séquanien inférieur. Il se termine par des calcaires gris à oolites diffuses, avec quelques passages de calcschistes assez épais. 35,50 m sont visibles, en bordure de la RN 67, à l'aval du tunnel.

Au dessus débute ce que nous avons carté en Séquanien, et qui constitue la coupe de la RN 67, du tunnel à la Creuse.

Ainsi, le Séquanien (J^7) est composé, de la base au sommet :

- Calcaires massifs à Polypiers coloniaux, oolites diffuses, Rhynchonelles..... 34,00 m
- Calcaires oolitiques et graveleux..... 8,70 m
- Puis vient une zone aveugle correspondant à une épaisseur de calcaires de 30 à 50 m.

- Calcaires grumeleux gris avec quelques niveaux feuilletés..... 9,70 m
- Niveau de calcschistes isolé par deux joints rubéfiés. 0,08 m
- Calcaires sublithographiques avec quelques rares joints marneux et des passages de calcschistes..... 16,95 m
- Calcaires oolitiques, contenant quelques gravelles et des entroques ; petits Lamellibranches et Nérinées ; un niveau de calcschistes..... 5,28 m
- Calcaires sublithographiques avec quelques niveaux oolitiques, un banc contenant des Pholadomyes..... 14,30 m.

A partir d'ici, nous avons considéré que les terrains appartenaient au Kimméridgien (J^8), soit :

- Calcaires bleus et ocres, à Terebratula subsella, radioles d'oursins, etc..... 1,35 m
- Calcaires ocres à traces blanches ; une lame mince a révélé qu'il s'agissait d'une brèche sédimentaire vraisemblablement due à une épigénisation de la calcite originelle par de la dolomie, du fait des contours flous des éléments de la brèche. Un essai à l'alizarine a confirmé la présence de dolomie..... 3,45 m
- Calcaires oolitiques ocres à nombreux Lamellibranches, avec deux niveaux à Polypiers coloniaux, le niveau du sommet contenant quelques cristaux de dolomie..... 8,50 m
- Calcaires massifs, avec quelques oolites, gravelles et entroques ; un niveau fossilifère à grandes Nérinées..... 11,40 m
- Banc de BRECHE A CAILLOUX NOIRS, déjà signalé en divers points du faisceau salinois, surmonté d'un joint de marnes ocres de dimension centimétrique.... 0,20 m à 0,90 m
- Calcaires sublithographiques avec de rares lits de marnes et des passages de calcaire marneux..... 20,20 m
- Calcaires marneux, avec quelques Pholadomyes..... 3,00 m
- Calcaires sublithographiques ocres ou blancs..... 27,00 m

Ainsi se termine, peu avant le lieu-dit la Creuse, la coupe de la RN 67. On atteint là les formations secondaires les plus récentes du secteur étudié.

Les dépôts glaciaires se présentent sous forme de quelques lambeaux accrochés aux pentes de la vallée, en bordure du chemin privé qui conduit à l'usine hydroélectrique de Mouthier, et surtout immédiatement à l'amont de la localité, sur les

deux rives de la Loue. Ils sont constitués de blocs calcaires très hétérométriques, que la notice de la feuille Ornans au 1/50.000 attribue au Würmien. La carrière établie dans ces dépôts au centre de la localité de Mouthier, au point de coordonnées Lambert x = 899,22 et y = 233,98, montre dans les éléments fins une nette stratification : il s'agit donc de dépôts morainiques où l'action des eaux s'est fait sentir.

Des dépôts trouvés sur le plateau, au Nord-Ouest de Renédale, sur le parcours d'une vallée sèche, et indiqués par le symbole Gz, sont sans doute à rattacher au Glaciaire du fond de la vallée.

Les éboulis sont très importants dans cette zone particulièrement accidentée.

Les tufs sont bien développés tout le long du parcours de la Loue, jusqu'en amont de la zone liasique.

Les alluvions constituant le lit majeur sont réduites à de très petites surfaces. Il faut signaler également une terrasse dominant le lit de 3 à 4 m, et notée Fy, en amont des dépôts glaciaires de Mouthier.

3 - Tectonique

Le secteur étudié est situé dans la partie chevauchante du faisceau salinois. Le coeur de l'anticlinal chevauchant apparait sous forme de Sinémurien, sur la rive gauche de la Loue, et de marnes liasiques tout autour de Mouthier.

Une faille dirigée Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest débute à l'Est de Grange Carré et vient disparaitre sous le Glaciaire de Mouthier. A ce niveau, elle met en contact les marnes entre elles.

Une autre cassure, de direction Ouest-Sud-Ouest - Est-Nord-Est, sur la rive droite de la Loue, au Nord de la Grange de la Baume, met en contact deux compartiments monoclinaux de Bathonien et de Dalle Nacrée, dont les pendages vont de 30° Sud-Sud-Est jusqu'à la verticalité. Deux petites failles parallèles marquent le retour brusque des couches à des pendages presque horizontaux, vers le Sud.

Au Sud de Grange Carré, deux failles presque parallèles se dirigent vers l'Est-Nord-Est, puis se rejoignent rapidement en un seul accident, pour se rediviser à nouveau en deux branches qui ont pour effet de faire réapparaitre deux fois la falaise bathonienne. Sur la rive gauche de la Loue, les couches plongent à peu près avec la même valeur que la pente, provoquant deux surfaces structurales de Bathonien. Celle des deux failles qui

est située le plus au Nord se divise pour donner une petite branche peu importante au niveau de la Loue, ce qui a pour effet de faire réapparaitre un peu de Grande Oolite près du fond du lit de la rivière. Ce petit accident s'amortit sur rive droite. A l'Est, les deux failles disparaissent sous les éboulis, mais on peut les voir prendre une direction grossièrement Est-Ouest.

Enfin, au Sud vient une importante flexure, dirigée párallèlement aux deux accidents que nous venons d'étudier. On passe, sans faille, comme cela peut être prouvé sur rive gauche, par l'examen du paysage, de pendages allant jusqu'à 80° Sud-Sud-Est dans le Bathonien et surtout le Rauracien, légèrement faillé sur le bord du plateau, à des pendages faibles de 5° Sud-Est à hauteur de Renédale. Puis les couches restent tranquilles, mis à part quelques petits accidents locaux, jusqu'à la faille de la source de la Loue.

Depuis le belvédère de Renédale notamment, on peut observer, dans les calcaires kimméridgiens, un net décollement, les couches supérieures étant plissées pour former une micro-faille chevauchante. Ce fait peut s'expliquer aisément par la présence, immédiatement au Nord, de la flexure dont nous venons de parler. Si l'on replace, sur une figure, la micro-faille dans le contexte tectonique auquel elle appartient, on obtient la coupe suivante :

Ce secteur étant trop restreint pour nous avoir apporté des éléments sur les phases d'activité tectonique de la région, nous n'aborderons pas les problèmes de morphotectonique.

2°) Etude du projet de barrage

1 - Caractéristiques du projet

Le barrage, établi immédiatement à l'amont de la localité de Mouthier, déterminerait une retenue dont le plan d'eau remonterait jusqu'au pied de l'usine hydroélectrique, à la cote 390. L'ouvrage aurait 10 m de haut. Le volume d'eau emmagasiné serait de 250.000 M3.

Le débit moyen de la Loue à cet endroit est de 15,45 m3/s. Cela représente un débit important que ne justifie pas le bassin versant propre de cette résurgence, qui est d'un peu plus de 230 km2. Une partie de ce débit provient en effet des pertes du Doubs et du Drugeon. Le temps de remplissage de la retenue, en fonction de ces 15,45 m3/s, est de moins de 5 h. Il ne peut donc s'agir là que d'un ouvrage d'appoint, à influence purement localisée.

2 - Etanchéité de la retenue

Le substratum est constitué par les marnes du Lias, dont le pendage est dirigé vers l'amont. Dans la mesure où l'ouvrage sera solidaire du substratum, l'étanchéité sera assurée.

De façon à avoir la plus grande retenue possible sans noyer aucune maison d'habitation, il faudra installer le barrage à l'aval de l'ancien moulin muiné, qui est marqué "usine" sur la carte Ornans 6, et à l'amont de celui qui, habité, est indiqué "scierie". Cela situe l'ouvrage sur les dépôts glaciaires, du moins sur rive gauche. Il sera nécessaire de reconnaitre, par de petits sondages, l'extension et la perméabilité de ces formations, de façon à savoir si la solution la moins onéreuse consiste à étancher le Glaciaire par un voile d'injection, et poser le barrage dessus, ou au contraire à décaper ces dépôts pour construire l'ouvrage directement sur les marnes du Lias.

3 - Stabilité du barrage

Etant donnée la nature du substratum, seule une digue en terre peut être édifiée ici.

Le principal problème est constitué par l'évacuateur de crue. La solution la plus raisonnable consiste à prévoir une évacuation par tunnel sur rive gauche, la partie aval étant creusée dans le Sinémurien et le calcaire Jurassique chevauché. La partie amont nécessitera des précautions et méritera d'être soigneusement reconnue : son percement se fera en effet dans les marnes du Lias.

4 - Projets de barrages à l'amont

L'usine hydroélectrique de Mouthier est un ouvrage de dérivation : une prise d'eau à la source de la Loue dérive une partie du débit qui descend en conduite forcée vers l'usine E.D.F. On peut, sans gêner cette installation, édifier un ou plusieurs barrages entre la prise d'eau et la centrale hydroélectrique.

La pente très forte et la nature calcaire du plateau interdisent de construire un seul ouvrage de grandes dimensions. La coupe du Jurassique supérieur nous a montré que nous ne pouvions compter sur aucune couche marneuse pour assurer l'étanchéité : or il ne serait pas rentable, pour des barrages de si peu d'importance, de devoir faire un voile d'injection dans les calcaires. De plus, du fait que l'on est à l'aval de la prise d'eau et à l'amont de l'usine hydroélectrique, on ne doit compter que sur une faible partie du débit moyen de 9,5 m3/s enregistré à la source.

Ces projets semblent donc peu défendables dans les conditions actuelles, d'autant plus que ces gorges constituent un site touristique très fréquenté.

5 - Conclusion pratique

Très modeste avec ses 250.000 m3, le projet de Mouthier semble peu viable. Seule une nécessité locale puissante pourrait amener à l'envisager.

B - LE BARRAGE DE CONSOLATION

1°) Etude géologique

1 - Situation

La partie aval du Cirque de Consolation a été cartée au 1/20.000. Ce secteur est situé sur la carte Maiche 6 et une très faible portion sur la feuille Morteau 2. Limité à la vallée du Dessoubre proprement dite, le terrain étudié est encadré au Sud par le séminaire de Consolation, au Nord par les fermes du bas de Laval.

2 - Stratigraphie

Pour les terrains jurassiques, elle intéresse surtout le Callovien et l'Oxfordien, dont la stratigraphie a été traitée dans le chapitre consacré à Rosureux.

Les éboulis forment des dépôts importants à hauteur du pont de l'Angoulot. Ces formations ont du, à un moment donné, barrer la vallée du Dessoubre. C'est ce qui explique la présence d'une petite terrasse d'alluvions, dominant de 2 m environ le lit majeur du ruisseau. Il s'agit là vraisemblablement d'un remplissage alluvial à un moment où le niveau de base local, situé au pont de l'Angoulot, était plus élevé qu'actuellement.

3 - Tectonique

Les couches tranquilles du plateau sont affectées d'un faible pendage vers le Sud, c'est à dire vers l'amont. Au niveau du bas de Laval, où apparait la Dalle Nacrée, on enregistre des pendages subitement plus forts, de l'ordre de 20° Sud-Sud-Ouest.

2°) Etude du projet de barrage

Restituer l'ancien lac, malgré le remblaiement partiel dont témoignent les secteurs en terrasse, permettrait de constituer une réserve de 300.000 m3 avec une digue en terre de 2 m de haut et 20 à 30 m de long, à la cote 497. Il serait nécessaire de rehausser d'un mètre la route qui longe la vallée en un point situé à proximité de la Ferme du Lac.

Le petit ouvrage s'appuierait sur le lambeau de terrasse situé le plus à l'aval. Un manque d'étanchéité constaté après édification de la digue pourrait être pallié par placage, sur le contrefort de cette terrasse, d'une couche de marnes oxfordiennes, qui pourrait être prise à proximité.

Cette petite retenue, bénéficiant d'un faible débit d'alimentation, serait un ouvrage d'appoint à intérêt purement local. Elle améliorerait peut-être le site, du point de vue touristique : un lac dans ce fond de vallée constituerait un attrait supplémentaire.

C - LE BARRAGE DU LAC DE REMORAY

Le Lac de Remoray est situé dans le coeur d'un synclinal crétacé à l'amont du lac de Saint-Point. Entre les deux, le Doubs a déposé une grande quantité d'alluvions très fines. La plaine peu stable ainsi formée est traversée par deux voies de communication : la ligne de chemin de fer Frasne-Vallorbe, et, un peu à l'aval, la route des Granges-Ste-Marie. Il s'agirait de créer une retenue de 22.000.000 m3, en édifiant une digue à l'amont de la voie du chemin de fer (R. COLLE, 1951), barrant ainsi le lit du Doubs et l'exutoire du lac. La retenue serait à la cote 855.

Or, pour les deux voies de communications, des problèmes de stabilité se sont posés. Dans le cas présent, il s'ajouterait la question de l'étanchéité.

Des sondages effectués par l'entreprise P. BACHY pour le compte de la Société des Forces Motrices de l'Est, ainsi que d'autres effectués lors de la reconstruction du pont des Granges-Ste-Marie, ont rencontré des calcaires à une profondeur de 40 m. Au dessus vient une couche de galets jusqu'à la cote 818 ou 811, selon les sondages du pont, la cote de la surface étant voisine de 850. Au dessus viennent des vases de différentes couleurs, puis une couche de sable coquillier plus ou moins continue. Cela constitue environ 35 m de terrains très mauvais du point de vue de la fondation d'une digue.

Une étude géotechnique a été faite par les Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics pour le compte des Ponts et Chaussées du Doubs. Un rapport établi en date du 20 mars 1944, donne les résultats suivants pour cette étude.

Profondeur de l'échantillon	Teneur en eau		c (en kg/cm2)	LL.	L.P.	I.P.
11 m	29,4	32	0	34,5	19,8	14,7
15 m	21,6	33	0,050			
19 m	23,1	27	0,070			
23 m	26,3	26	0,050	34,6	15,3	19,3
7 m	19,7	32	0,075	23,3	12,9	10,4

Tous les essais ont été faits sur des échantillons de vase, mais aucun sur le sable coquillier. Il semble que cette dernière formation, qui n'a pas été rencontrée dans tous les sondages, soit au moins aussi désavantageuse que la vase, en ce qui concerne les tassements. Le rapport conclut à la nécessité de fonder UN OUVRAGE ISOSTATIQUE et capable de supporter les déformations. Nous pouvons conclure de la même façon : les techniques de construction sur le mollisol des pays nordiques permettraient sans doute de résoudre ce délicat problème de stabilité.

Le rapport de l'entreprise P. BACHY insiste sur le problème d'étanchéité posé par les calcaires que l'on trouve à 35 ou 40 m de profondeur. C'est pourquoi un voile par injection de ciment ou par pieux moulés jointifs est préconisé. En fait, cela ne constitue un problème que si ces calcaires, après mise en eau de la retenue, sont en contact avec la surface à l'intérieur du périmètre noyé. Cela ne semble pas être le cas. Le seul grand problème d'étanchéité sera posé par les sables coquilliers dont il faudra connaitre l'extension géographique et la perméabilité exacte.

La remarque que l'on peut faire est qu'il serait sans doute très difficile de localiser toutes les pertes du lac de Chaillexon, et ensuite de les colmater.

La régularisation apportée serait surtout profitable aux usines hydroélectriques situées à l'aval. Les agriculteurs de l'amont et les touristes seraient les autres bénéficiaires à cette réalisation. L'amélioration des conditions hydrologiques du Doubs à l'aval semble plus aléatoire.

C O N C L U S I O N

----oOo----

Le présent travail a pour unique ambition d'ébaucher les études préliminaires à la construction de barrages dans le département du Doubs. Il ne s'agit en effet ici que d'orienter les recherches dans des directions déterminées. Toutefois, pour certains de ces projets, un levé géologique précis a été exécuté : il pourra servir de base à la campagne de reconnaissance qui devra, en tout état de cause, précéder tous les travaux.

Parmi les sites étudiés, certains semblent dès à présent pouvoir être retenus ; ce sont, par ordre d'importance décroissante :

- les deux projets de Chenecey (60 et 12.000.000 m3) ou le projet mixte, combinant les deux, et dont le volume serait intermédiaire entre les valeurs citées.

- le projet de Neuf-Gouffre (St-Hippolyte), qui vise à créer une retenue de 16.000.000 m3.

- le projet de Rosureux : 400.000 m3.

- le projet de Consolation : 300.000 m3.

D'autres, au contraire, méritent d'être discutés pour des raisons diverses ; ce sont, classés de la même façon :

- le projet du lac de Remoray (20.000.000 m3) qui devrait sans doute faire appel à des techniques de construction très particulières.

- le projet de la Scierie Girardot sur le Dessoubre, dont les dimensions et la capacité apparaissent disproportionnées au débit d'alimentation.

- le projet de Mouthier peut être bien onéreux par rapport à l'importance de la retenue (250.000 m3 seulement).

- la série de barrages à l'amont de la centrale hydroélectrique dans les gorges de Nouailles, de faible capacité, peut être inopportune en ce site touristique.

Enfin, des aménagements du site naturel du Saut du Doubs sont peut-être réalisables.

La régularisation susceptible d'être obtenue par les ouvrages reconnus mérite une conclusion d'un autre ordre, pour laquelle on peut utiliser la partie de ce travail consacrée à l'hydrologie : dans quelle mesure peut-on obtenir de préférence une régularisation du cours superficiel du Doubs ou de la Loue. Il n'y a aucune ambiguité pour les ouvrages situés à l'aval des pertes et sur la Loue. Mais un projet tel que celui du lac de Remoray profiterait-il à l'un ou l'autre des cours d'eau ? Dans l'état actuel des intercommunications, la Loue recueillerait tout le bénéfice de cet ouvrage en période sèche. Le seul moyen d'en faire profiter le Doubs consisterait à préserver des pertes le débit qu'on lui réserverait par un canal étanche de 8 à 10 km. Un colmatage des pertes serait par contre inéfficace, tant par suite de l'impossibilité d'une obturation permanente des pertes connues qu'en raison de l'existence probable de nombreux points d'absorption non identifiables.

B I B L I O G R A P H I E

------oOo------

CARTES GEOLOGIQUES CONSULTEES

DREYFUSS M. - 1963 - Ornans 1/50.000 (1re édition)

DREYFUSS M. - 1964 - Mouthe 1/50.000 (1re édition)

FALLOT P., CORROY G., GARDET G. - 1933 - Montbéliard 1/80.000 (2e édition)

FALLOT P. et ROBAUX A. - 1942 - Ornans 1/80.000 (2e édition)

FOURNIER E. et PIROUTET M. - 1922 - Besançon 1/80.000 (2e édition)

GUILLEMOT J. - 1964 - Maiche 1/50.000 (1re édition) en préparation.

OUVRAGES CONSULTES

*** - 1944 - Sondages d'études à Labergement-Ste-Marie. Entreprise BACHY, rapport inédit.

*** - 1944 - Rapport sur la reconstruction du pont des Granges-Ste-Marie. Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, rapport inédit.

BAILLAUD R. - 1954, 1955, 1956, 1957 - Climatologie Comtoise et Jurassienne. Ann. Sc. Univ. Besançon, fasc. 1, 2 et 3.

BERTRAND L. - 1930 - Du rôle de la géologie dans les études d'aménagement hydroélectriques. "Livre Jubilaire" Soc. Géol. France, t. I, p. 101-118.

BILLY G. - 1954 - Etude des courbes normales de dispersion : éléments de statistique à l'usage des naturalistes. Centre de Documentation Universitaire.

BONTE A. et CELET P. - 1955 - Observations géologiques dans la région de Cléron (Doubs). Bull. Serv. Carte Géol. France, n° 241, t. LII, p. 117-121.

CAIRE A. - 1960-1963 - Problèmes de tectonique et de morphologie jurassiennes. Livre à la mémoire du Professeur P. FALLOT, Soc. Géol. France, t. II, p. 105-158.

CAQUINEAU X. - 1962 - Le grand canal du Rhône au Rhin. Etude géologique des principaux ouvrages entre Bourogne (territoire de Belfort) et Saint-Symphorien-sur-Saône (Côte d'Or). Thèse de 3e cycle, Besançon.

CAROZZI A. - 1953 - Pétrographie des roches sédimentaires. F. Rouge et Cie S.A., Lausanne.

CASTANY G. - 1963 - Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris.

CHAUVE P. - 1959 - Bibliographie géologique du Jura français. Ann. Sc. Univ. Besançon, 2e série, fasc. 9, p. 103-119.

COLLE R. - 1928 - Aménagement de la chute de Liebvillers, de la Société des Forces Motrices, Forges et Visseries de St-Hippolyte. "Revue d'Electricité et de Mécanique", n° 1, p. 2-13.

- - 1949-1951 - Le bassin du Doubs. Ann. Sc. de Franche-Comté, p. 27-52. Ann. Sc. Univ. Besançon, Hydrographie, t. VI-VII.

COQUAND M. - 1951 - Conférence sur la lutte contre les inondations, organisée du 7 au 9 janvier 1951, par la commission économique de l'ONU (ECASE). "La Houille Blanche", numéro spécial B, p. 588-592.

CUENOT G. - 1921 - Fleuves et rivières. Dunod, Paris.

DARIES G. - 1912 - Précis d'hydraulique. Dunod et Pinat, Paris, p. 139-151.

DESIO A. - 1961 - Aspect géologique des réservoirs et des terrains de fondation des barrages. Istituto di Geologia della università di Milano, série G, n° 142.

DREYFUSS M. - 1960 - Présence d'un minerai de fer d'âge argovien à Goux-sous-Landet près Quingey (Doubs). Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs, n° 62, fasc. 4.

DREYFUSS M. - 1963 - Principe d'une méthode d'étude des réseaux karstiques par corrélation des débits. Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs, n° 65, fasc. 3-4, p. 53-56.

DREYFUSS M. et GLANGEAUD L. - 1950 - La vallée du Doubs et l'évolution morphotectonique de la région bisontine. Ann. Sc. Univ. Besançon, t. V, fasc. 2.

DREYFUSS M., THEOBALD N. et THIEBAUT J. - 1962 - Vue d'ensemble sur le Jura franc-comtois et la retombée méridionale des Vosges. Ann. Sc. Univ. Besançon, 2e série fasc. 16, p. 93-112.

DREYFUSS M. et VANÇON J.P. - 1965 - Identification de caractères propres aux écoulements en pays karstique, par corrélation des débits. C.R. Ac. Sc., t. 260, n° 8, p. 2270.

FALLOT P. - 1938 - Rapport sur le projet d'aménagement hydro-électrique du Dessoubre inférieur. Rapport inédit pour la Compagnie Générale d'Electricité.

FALLOT P., CORROY G. et GARDET G. - 1931 - Données stratigraphiques et tectoniques nouvelles sur la feuille de Montbéliard. Bull. Serv. Carte Géol. France, n° 181, t. XXXIV.

FOURMARIER P. - 1958 - Hydrogéologie. Introduction à l'étude des eaux destinées à l'alimentation humaine et à l'industrie. Masson, Paris.

FOURNIER E. - 1907 - Rapport sur les pertes du Doubs et la capture progressive du Doubs supérieur par la Loue. Cité par J.JAPY (notes relatives au cours du Doubs et à sa régularisation, rapport).

- - 1907 - La sècheresse dans le Jura en 1906. "La Nature", n° 1782, p. 119-122.

- - 1913 - Le Doubs et la Loue. Communication des pertes du Doubs avec la Loue : expérience de coloration de 1910. Notice historique et descriptive. Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs, n° 23, p. 59-80.

FOURNIER E. et SCHARDT H. - 1907 - Rapport sur les travaux à exécuter et sur les expériences à entreprendre en vue de la régularisation du régime du Doubs. S.A. d'Imprimerie Montbéliardaise, Montbéliard.

FRANCISCHI J. - 1963 - Charriage des matériaux grossiers par les rivières. "Les Travaux Publics", n° 965, p.18-23.

GENESTIER M. - 1962 - Le Doubs à Fraisans. D.E.S., Géographie, Besançon.

GIGNOUX M. et BARBIER R. - 1955 - Géologie des barrages et des aménagements hydrauliques. Masson, Paris.

GOGUEL J. - 1951 - Géologie et fondations de barrages. Journal de voyage aux U.S.A. Ann. Ponts et Chaussées, n° 17, p. 385-419.

GOGUEL J. - 1952 - Traité de tectonique. Masson, Paris.

HAFFEN M. - 1953 - Barrages en pays calcaires à caractères karstiques. Congrès Géol. International, C.R. 19e session, section VIII, fasc. VIII, p. 243-255.

HOLEF J. - 1962 - Contribution à l'étude géologique du quart Nord-Est de la feuille de Quingey. D.E.S., Géologie, Lille.

HORTON R.E. - 1945 - Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. America, vol. 56, n° 3, p. 275-370.

JEKHOWSKY B. (de) - 1964 - Diagrammes de dispersion et courbes de densité en biométrie. Revue de l'I.F.P., vol. XIX, n° 7-8, p. 841-844.

KILIAN W. et DEECKE W. - 1883 - Description géologique des environs Nord de Maiche. Ex. Mem. Soc. Emul. Montbéliard, 58 p.

LAMOTTE M. - 1948 - Introduction à la biologie quantitative. Présentation et interprétation statistique des données numériques. Masson, Paris.

LEOPOLD L.B. et MILLER J.P. - 1956 - Ephemeral streams. Hydraulic factors and their relation to the drainage net. Geol. Survey Prof. paper 282-A.

LUGEON M. - 1931 - Rapport sur le projet d'aménagement Hydroélectrique du Dessoubre inférieur. Rapport inédit pour la Soc. d'Etudes des Forces Motrices du Haut Doubs.

- - 1933 - Barrages et géologie. Dunod, Paris

MARGERIE E. (de) - 1922 - Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. Le Jura. 1re partie. Bibliographie sommaire du Jura français et suisse. Imprimerie nationale, Paris.

MARGERIE E. (de) - 1936 - 2e partie. Commentaire de la carte structurale. Ibid.

MARTEL E.A. - 1928 - La France ignorée. Région du Sud-Est. Delagrave, Paris.

- - 1930 - La France ignorée. Nord, Ouest, Centre, Causses et Pyrénées. Ibid.

MONDIN C. - 1959 - Aide-mémoire Dunod. Travaux publics. Dunod, Paris, t. I, p. 205-238.

MUNDORFF M. J. - 1964 - Geology and ground-water conditions of Clark County Washington, with a description of a major alluvial aquifer along the Columbia river. Geol. Survey water-supply paper 1600.

NEMETH E. - 1954 - Hydrologie et hydrométrie. Tankönykiado, Budapest, traduction BRGM, n° 4113, Paris, 1963

PEPE P. - 1959 - Présentation des statistiques. Dunod, Paris.

QUESNEL B. - 1963 - Traité d'hydraulique fluviale appliquée. Cours d'eau non navigables. Généralités et pratique des travaux. Eyrolles, Paris.

RAGUIN E. - 1948 - Géologie appliquée. Masson, Paris, p.171-181.

RAYTCHINE N. et CHATELAIN P. - 1950 - Détermination graphique de la ligne d'eau et calcul des remous. "La Houille Blanche", n° 3, p. 373-379.

REMENIERAS G. - 1960 - Hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles, Paris

ROBAUX M. - 1938 - Etude hydrogéologique du Bief de Brande et du plateau entre St-Hippolyte et Maiche (Doubs). Rapport inédit.

ROCHE M. - 1963 - Hydrologie de surface. Gauthier-Villars, Paris

SIRI J.B. - 1964 - Etude géologique de la région de Quingey (Doubs). Thèse 3e cycle, Besançon.

TRICART J. - 1962 - L'épiderme de la terre. Esquisse d'une géomorphologie appliquée. Masson, Paris.

TRICART J. et HIRSCH F. - 1960 - Relations entre le débit et la superficie des bassins fluviaux. Ann. de Géographie, n° 375, p. 449-461.

TURC L. - 1953 - Le bilan d'eau des sols. Relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. Thèse Sciences, Paris.

VANÇON J.P. - 1965 - Etude quantitative des pertes du Doubs et du Dessoubre (à l'impression).

VARLET H. - 1958-1962 - Usines hydrauliques. Eyrolles, Paris, t. I, II, III et IV.

WALTERS R.C.S. - 1962 - Dam geology. Butterworths, Londres.

A D D E N D U M

---oOo---

Des travaux d'élargissement de la D 39 intervenus alors que l'élaboration matérielle de cette thèse touchait à sa fin ont mis à jour, à 500 m au Sud de St-Hippolyte, des affleurements jusqu'alors masqués par un talus herbeux. On peut y distinguer la base des formations calcaires de l'Aalénien et les marnes sous-jacentes, le tout affecté d'un pendage de 50° Est-Sud-Est. Une lentille d'alluvions anciennes y est également visible à une dizaine de mètres au dessus du Dessoubre.

La grande faille Nord-Sud de St-Hippolyte se trouve entre ces affleurements et le Jurassique moyen visible à quelques mètres à l'Ouest. Faute d'arguments, elle avait été située sur la carte dans le lit du Dessoubre : il faut donc la déplacer légèrement à cet endroit de 60 m vers l'Ouest.

Cette modification n'a aucune incidence pratique sur le projet de barrage.

A N N E X E

Tableau résumant les valeurs numériques principales qui caractérisent les rivières étudiées.

Station	Rivière	Surface hydrogéologique moyenne (valeur approchée) km2	Débit moyen m3/s	Débit caractéristique d'étiage m3/s	Débit mensuel minimum enregistré m3/s	Débit mensuel maximum enregistré m3/s
Labergement	Doubs	170	4,36	0,35	0,23	11,15
Pontarlier	"	350	7,83	0,95	0,49	24,0
Sortie du lac des Brenets	"	910	18,00	-	1,08	81,6
Combe des Sarrasins	"	1.045	24,23	-	0,97	99,9
Refrain	"	1.055	24,70	-	0,83	137,9
Goumois	"	1.060	27,18	4,2	1,80	81,5
Ocourt	"	1.230	31,05	-	2,10	115,0
Liebvillers-Grosbois	"	1.400	31,73	-	1,93	157,8
Dampjoux	"	2.000	47,93	-	3,49	174,0
Rochefort	"	4.970	88,68	14,0	7,10	241,0
Mouthier	Loue	400	9,53	-	1,03	26,6
Mouthier-aval	"	710	15,45	-	2,07	47,3
Vuillafans	"	930	20,01	3,7	2,16	61,9
Thenecey	"	2.300	44,98	6,2	3,50	151,4
St-Hippolyte	Dessoubre	560	12,13	0,47	1,03	33,6

INDEX DES LIEUX CITES

1 = localités situées dans la région de Chenecey (cartes Quingey 3-4 et 7-8)
2 = localités situées dans la région de St-Hippolyte (Maiche 3 et 4)
3 = localités situées dans la région de Rosureux et Consolation (Maiche 6 et 7)
4 = localités situées dans la région de Mouthier (Ornans 7 et 8)

	x	y
3 - Angoulot (pont de l')	923,8	250,5
1 - Barchet (bois)	876,0	233,6
1 - Barme (bois de la)	875,0	235,9
3 - Barre (la)	927,5	252,0
3 - Bas de Laval (le)	923,9	250,7
3 - Battenans	931,1	259,2
2 - Bief	934,8	267,9
2 - Bief de Bran (source du)	936,8	264,8
2 - Blanchefontaine	934,9	262,4
3 - Bonnétage	930,9	253,5
3 - Bretonvillers	925,6	255,4
1 - Buillon (Abbaye de)	875,0	240,6
1 - Buillon (bois de)	875,3	241,5
3 - Charmoille	928,0	258,7
1 - Charnay	874,5	242,8
2 - Chateillenot (bois)	934,0	264,5
2 - Châtillon-sous-Maiche	933,6	266,3
1 - Châtillon (château de)	877,0	235,8
1 - Châtillon (forges de)	876,8	238,7
1 - Châtillon (pont de)	877,0	238,3
1 - Châtillon-sur-Lison	876,5	235,9
1 - Chenecey	874,7	244,1
1 - Chenecey (forges de)	875,3	243,4
2 - Combe Amiot	938,2	263,4
2 - Combe Damotte	934,8	266,3
2 - Combe de Clan	936,8	264,0
1 - Combes Leveuses	875,9	246,1
3 - Côte Barbier	926,0	253,7
2 - Côte de la Broche	936,3	263,7
3 - Côte du Dessoubre	930,0	258,0
2 - Côte du Diable	936,3	267,4
3 - Côte du Jet au Meneguin	928,4	255,6
2 - Côte St-Hippolyte	939,4	266,6
1 - Courcelles	874,7	239,0
4 - Creuse (La)	901,5	232,7
3 - Cul de la Fosse	928,5	254,7
1 - Cussey-sur-Lison	874,7	235,2
1 - Doulaize	876,9	232,9
1 - Echay	874,3	233,5
3 - Erauges (N.D. des)	922,8	252,4
3 - Essart Laguenne	927,5	254,0
2 - Essart Miget	935,8	266,7
2 - Falot (bois du)	936,4	265,4
1 - Faulet (bois du)	873,7	244,4
2 - Fontenotte	935,1	268,5
1 - Fougère (la)	875,8	240,0
2 - Froidevaux	929,2	264,8
1 - Froidière (source de la)	876,3	239,5
3 - Gigot (le)	924,0	253,6
3 - Gouffre d'Arpan (le)	924,5	253,5
3 - Gouffre du Moulinot (bois du)	930,1	256,8
2 - Grand Clos (le)	938,2	264,6
3 - Grandes Planches (les)	929,9	255,1
4 - Grange Carré	898,6	232,6
4 - Grange de la Baume	900,3	233,8
1 - Granges du Sapin	876,0	243,6
1 - Granges-Mathieu	875,6	244,8
3 - Hauteroche	928,4	255,9
3 - Jean Chara (bois)	928,3	254,8
3 - Joux (la)	923,5	255,5

	x	y
3 - Lac (ferme du)	923,3	249,9
3 - Laval-le-Prieuré	924,6	251,2
2 - Liebvillers	936,0	269,0
1 - Lizine	877,8	234,9
3 - Longevelle	926,6	256,3
3 - Lotrot-Dessous	930,8	255,6
3 - Lotrot-Dessus	930,8	255,2
2 - Mancenans	936,0	260,7
2 - Maroc (le)	936,6	267,7
1 - Meule (la)	875,8	239,0
1 - Mont (église du)	874,8	238,5
2 - Montaigu	930,9	263,8
2 - Montandon	940,0	265,8
1 - Montbergeret (bois de)	874,8	232,6
3 - Mont-de-Laval	925,1	250,1
3 - Mont-de-Vougney	931,4	257,9
2 - Montoille	937,3	265,3
3 - Mont Olivot	931,7	256,6
2 - Morimaison	934,5	262,9
2 - Mouillevillers	937,4	264,6
1 - Moulin des Iles	880,5	238,9
1 - Moulin Neuf	877,7	236,6
2 - Moulin Neuf	938,2	267,7
4 - Mouthier	899,2	234,1
1 - Myon	874,0	231,3
2 - Nadan	936,1	267,9
2 - Neuf Gouffre	937,2	266,0
2 - Orgeans	933,4	260,8
1 - Ormes (bois des)	876,5	233,4
2 - Pain de Sucre	937,9	267,6
1 - Palantine	873,7	238,4
3 - Perrins (les)	925,6	251,9
1 - Petit Narmont	874,9	246,1
3 - Piot (le)	930,7	254,3
3 - Plaimbois-du-Miroir	926,4	252,5
2 - Pont de Meurey	935,8	264,1
2 - Pont de Fondereau	938,7	264,2
3 - Racel (au)	927,2	253,8
3 - Rançonnière (la)	931,1	255,2
4 - Renedale	899,5	231,8
3 - Roche du Miroir	925,7	252,7
1 - Roche Gauthier	874,7	245,7
3 - Rochotte (la)	928,8	254,6
3 - Rosureux	929,3	255,6
1 - Rurey	878,8	239,4
2 - Saint-Hippolyte	938,2	267,2
3 - Saint-Julien-Dessous	932,1	255,6
3 - Saint-Julien-les-Russey	932,4	255,2
3 - Saucet (le)	923,6	254,3
3 - Scierie Girardot	924,3	252,2
1 - Souillet (le)	873,1	241,7
2 - Soyère	937,9	265,9
3 - Sur-la-Roche	932,8	256,4
1 - Touvières (les)	874,2	245,8
2 - Vacheresses (les)	939,7	263,5
3 - Val (le)	925,4	254,3
2 - Valory	934,8	260,9
2 - Vaubierge	939,0	268,8
2 - Vauchamp	939,1	267,8
1 - Vieille Grange (la)	874,2	244,1

N.B. - Ne pas confondre Châtillon-sur-Lison (région de Chenecey) et Châtillon-sous Maiche (région de St-Hippolyte).

Il y a deux lieux-dits Le Moulin-Neuf, près de Chenecey et près de St-Hippolyte.

T A B L E D E S P L A N C H E S

-----oOo-----

	Pl.
- Données hydrologiques du bassin étudié.....	I
- Graphique d'exploitation des barrages de régularisation.	II
- Courbes des débits classés utilisant une échelle semi-logarithmique.....	III
- Coupe de la pincée des Granges-Mathieu.....	IV
- Carte hydrologique des calcaires de la région de Chenecey	V
- Légende.....	VI
- Carte structurale de la région de Chenecey.....	VII
- Carte structurale de la région de St-Hippolyte.....	VIII
- Carte structurale de la région de Rosureux.....	IX
- Carte géologique de la région de Mouthier)	
- Carte géologique de la région de Consolation).....	X
- Carte géologique et coupes de la région de Chenecey..	hors-texte
- Carte géologique et coupes de la région de St-Hippolyte."	"
- Carte géologique et coupes de la région de Rosureux....."	"

*
* *

Un dossier, déposé au Laboratoire de Géologie de l'Université de Besançon, où il peut être consulté, comprend également :

- Carte géologique de la région de Chenecey au 1/25.000 (original)
- Carte géologique de la région de St-Hippolyte au 1/20.000(-)
- Carte géologique de la région de Rosureux au 1/20.000 (original)
- Carte géologique de la région de Mouthier au 1/20.000 (original)
- Carte structurale de la région de Chenecey au 1/25.000
- Carte structurale de la région de St-Hippolyte au 1/20.000
- Carte structurale de la région de Rosureux au 1/20.000
- Carte hydrologique des calcaires de la région de Chenecey au 1/25.000
- Carte du projet "Chenecey" au 1/20.000
- Carte du projet "St-Hippolyte - Neuf-Gouffre" au 1/20.000.

T A B L E D E S M A T I E R E S

--------oOo--------

Pages

INTRODUCTION..... 1

I - HYDROLOGIE..... 2

A - Description du réseau..... 2
B - Climatologie..... 4
C - Etude des crues et des étiages..... 6
D - Qualité de l'eau et débit solide..... 7
E - Méthode d'étude des débits par corrélation..... 8

II - CONDITIONS D'EDIFICATION DE BARRAGES DE RETENUE.... 17

A - Caractères généraux des barrages projetés..... 17
B - Rôle et opportunité de barrages de retenue dans le département du Doubs..... 17
C - Données générales sur l'exploitation de ces barrages..... 19
D - Possibilités offertes par les vallées de la région 21

III - LES BARRAGES DE CHENECEY..... 27

A - Etude géologique..... 27
1 - Situation..... 27
2 - Stratigraphie..... 27
3 - Tectonique..... 32
4 - Morphotectonique..... 35

B - Etude des deux projets de barrages..... 36
1 - Caractéristiques des projets..... 36
2 - Etanchéité des retenues..... 38
3 - Stabilité des barrages..... 39
4 - Conclusion pratique..... 40

IV - LE BARRAGE DE St-HIPPOLYTE..... 41

A - Etude géologique..... 41
1 - Situation..... 41
2 - Stratigraphie..... 41
3 - Tectonique..... 46
4 - Morphotectonique..... 49

B - Etude du projet de barrage..... 51
1 - Caractéristiques du projet..... 51
2 - Etanchéité de la retenue..... 51
3 - Stabilité du barrage..... 53
4 - Conclusion pratique..... 54

Pages

V - LE BARRAGE DE ROSUREUX..... 55

A - Etude géologique..... 55
1 - Situation..... 55
2 - Stratigraphie..... 55
3 - Tectonique..... 60
4 - Morphotectonique..... 64

B - Etude du projet de barrage..... 65
1 - Caractéristiques du projet..... 65
2 - Etanchéité de la retenue..... 66
3 - Stabilité du barrage..... 66
4 - Le barrage de la Scierie Girardot..... 66
5 - Conclusion pratique..... 67

VI - LES AUTRES BARRAGES REALISABLES..... 68

A - Le barrage de Mouthier..... 68
1 - Etude géologique..... 68
2 - Etude du projet de barrage..... 72

B - Le barrage de Consolation..... 74
1 - Etude géologique..... 74
2 - Etude du projet de barrage..... 75

C - Le barrage du lac de Remoray..... 75
D - L'aménagement du Saut du Doubs..... 77

CONCLUSION..... 79

BIBLIOGRAPHIE..... 81

ADDENDUM..... 87

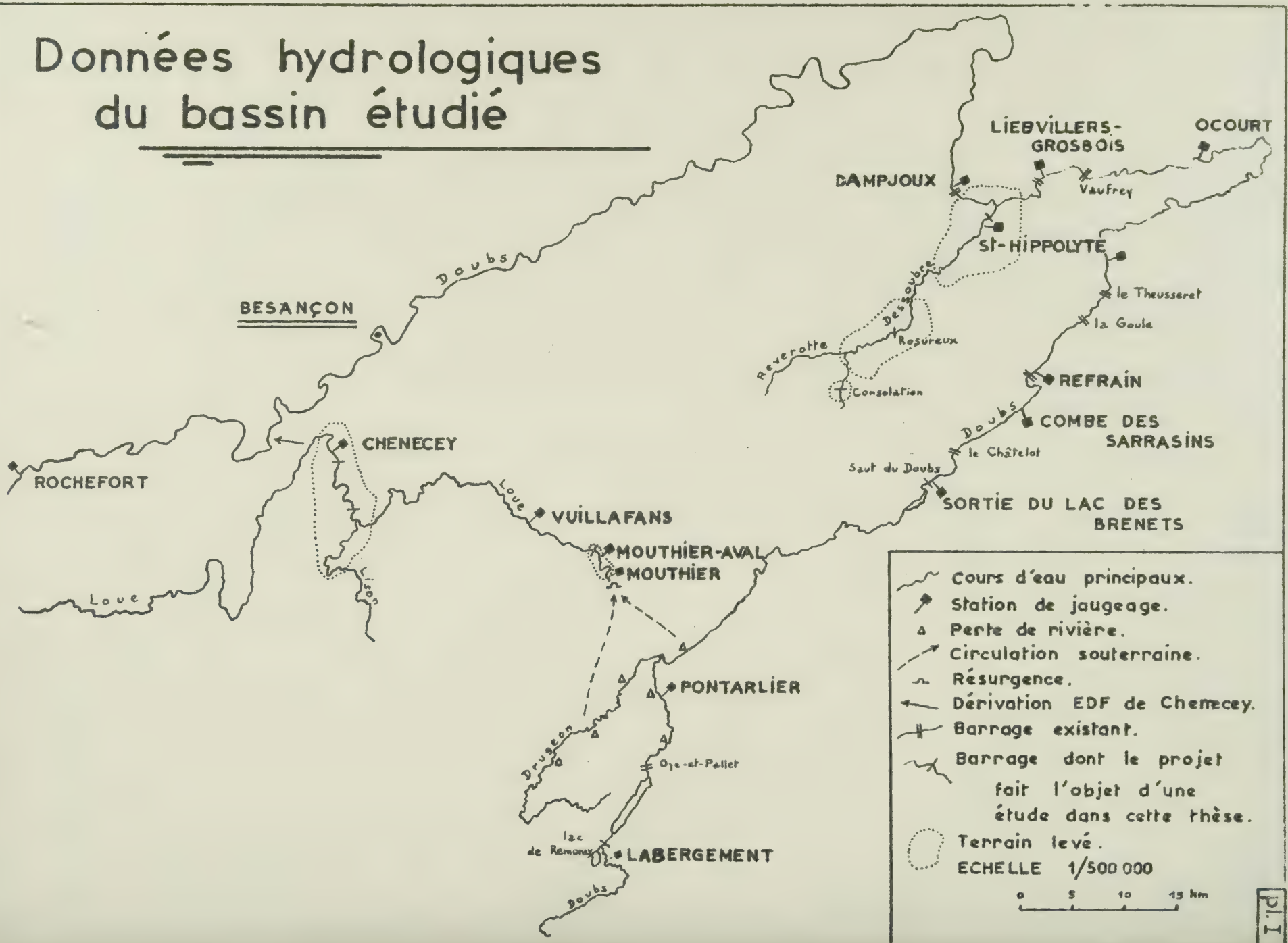
ANNEXE..... 88

INDEX DES LIEUX CITES..... 89

TABLE DES PLANCHES..... 91

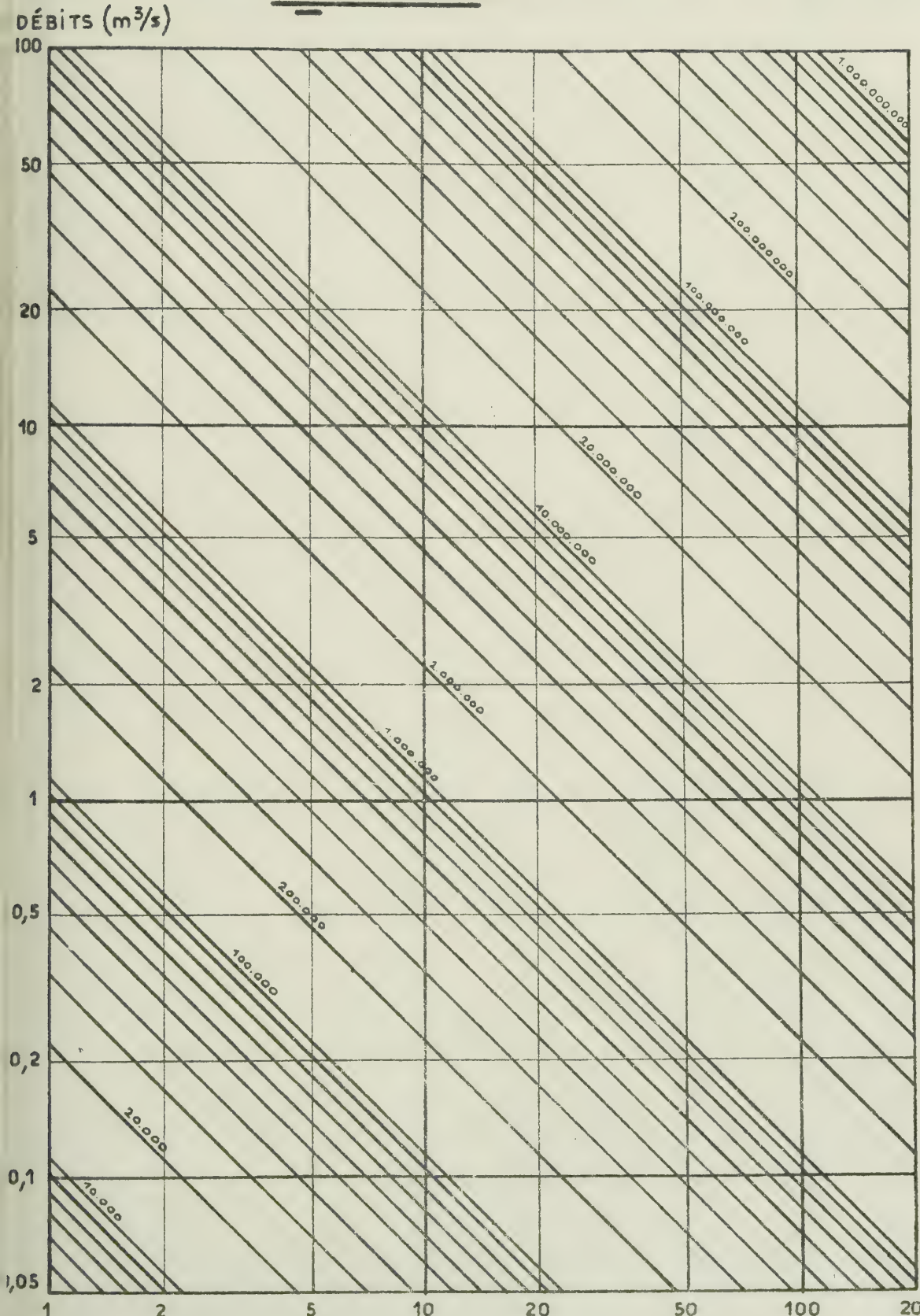
TABLE DES MATIERES

Données hydrologiques du bassin étudié



pl. II

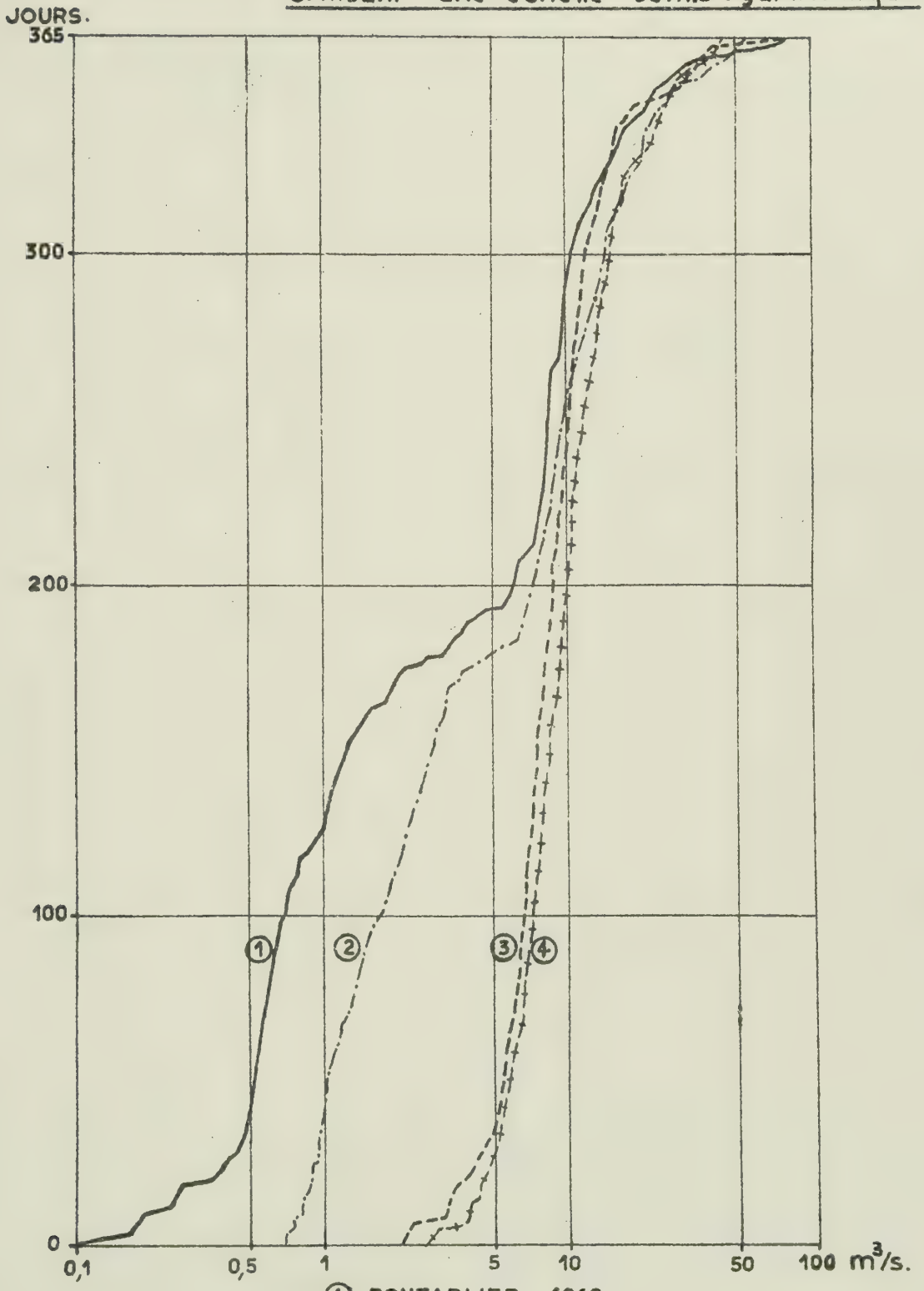
GRAPHIQUE D'EXPLOITATION
des barrages de régularisation



Les volumes utilisables sont indiqués en m^3 seulement pour quelques courbes.

COURBES DES DÉBITS CLASSÉS.

Utilisant une échelle semi-logarithmique.



①: PONTARLIER 1962.

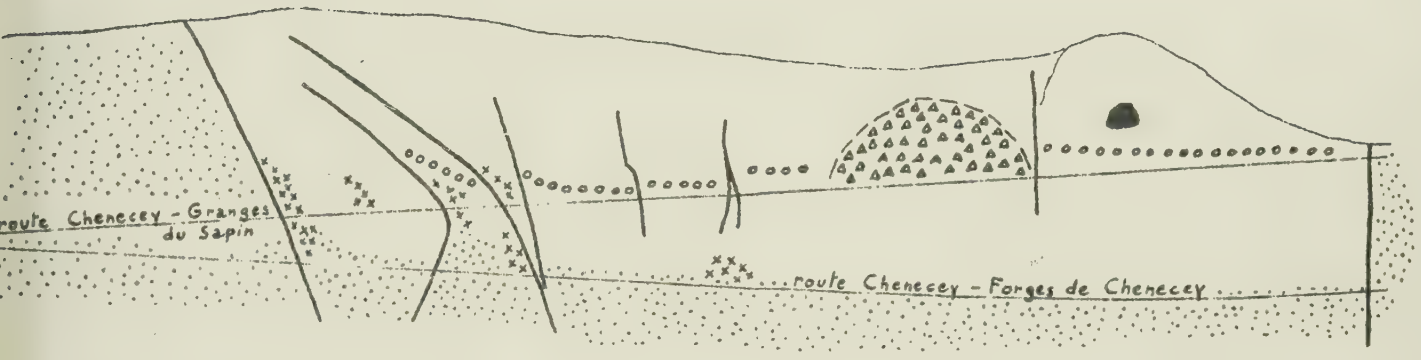
②: MOUTHIER 1962.

③: PONTARLIER 1958.

④: MOUTHIER 1958.

Coupe de la pincée des Granges - Mathieu

W E



Bathonien.

Grande Oolithe.

Groise.

Calcaire broyé.

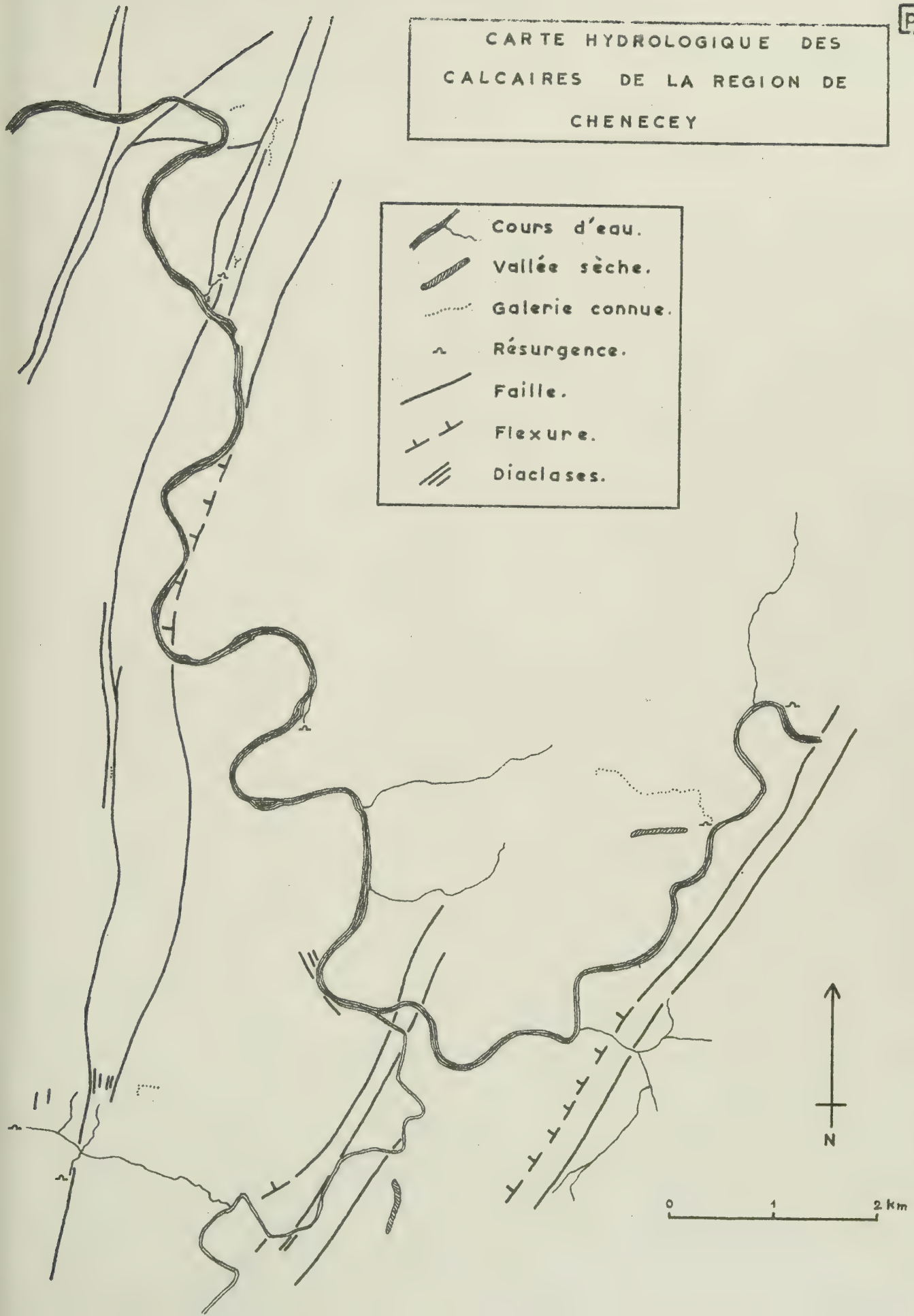
Niveau repère.

Faille.

Sortie de la grotte de Chenecey.

pl. V

CARTE HYDROLOGIQUE DES CALCAIRES DE LA REGION DE CHENECEY



Légende

CARTES :

F_z	Alluvions récentes.
F_y	Alluvions anciennes.
	Marnes glissées.
	Paquet éboulé (Rosureux).
E	Eboulis.
U_z	Tufs.
G_z	Glaciaire récent (Mouthier).
J^p	Purbeckien.
J^9	Portlandien.
J^8	Kimméridgien : { Virgulien. Prérocérien.
J^7	Séquanien.
J^6	Rauracien.
J^5	Argovien.
J^4	Oxfordien.
J^3	Callovien.
J^2	Bathonien.
J^{1b}	Bajocien supérieur.
J^{1a}	Bajocien inférieur.
l^6	Aalénien.
l^{5-4}	Marnes du Lias.
l^3	Sinémurien.

COUPES :

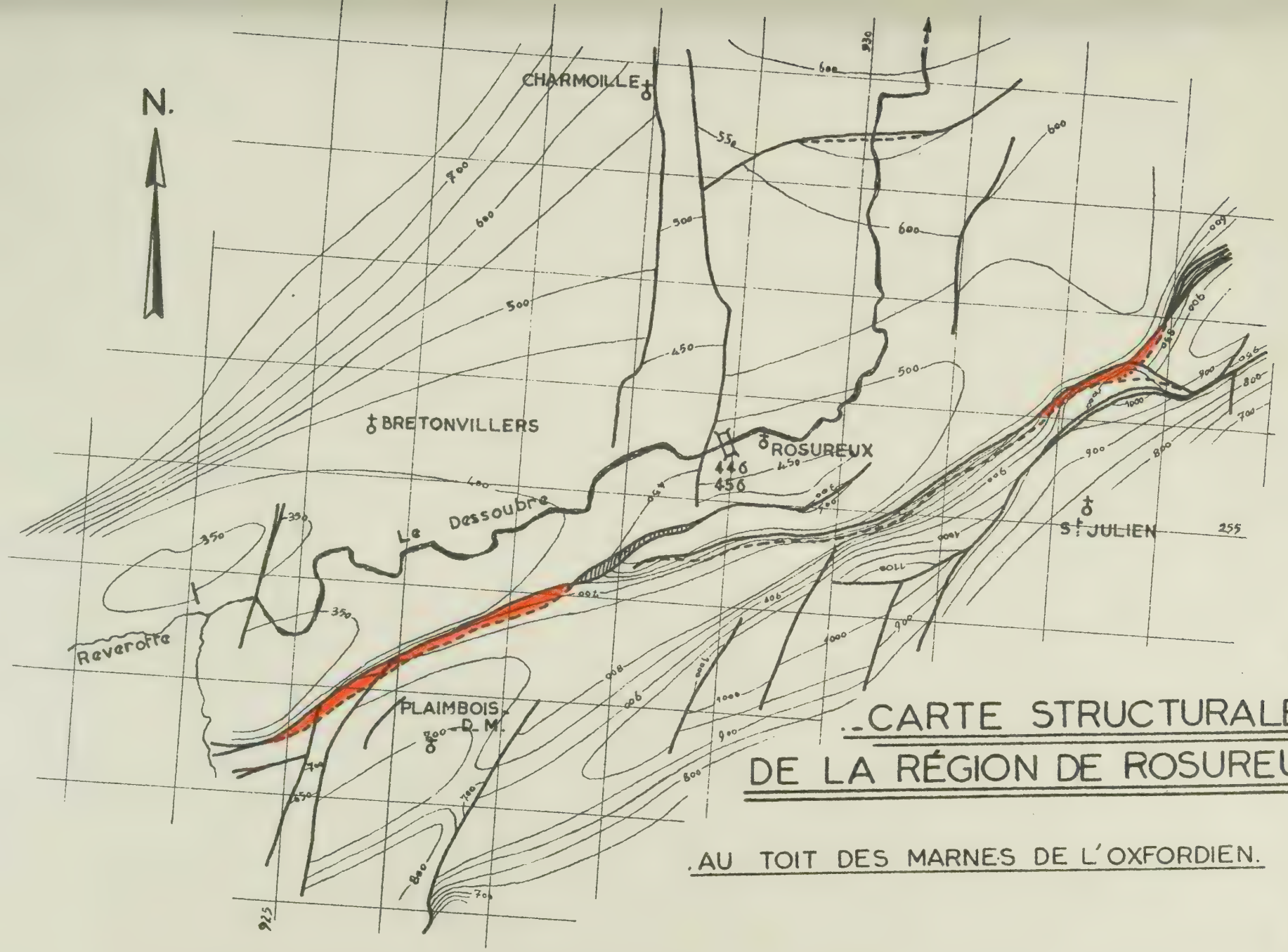
CARTE STRUCTURALE DE LA RÉGION DE CHENECEY.

AU TOIT DES MARNES DU LIAS

Échelle: 1/50.000

N.

Échelle: 1/50.000



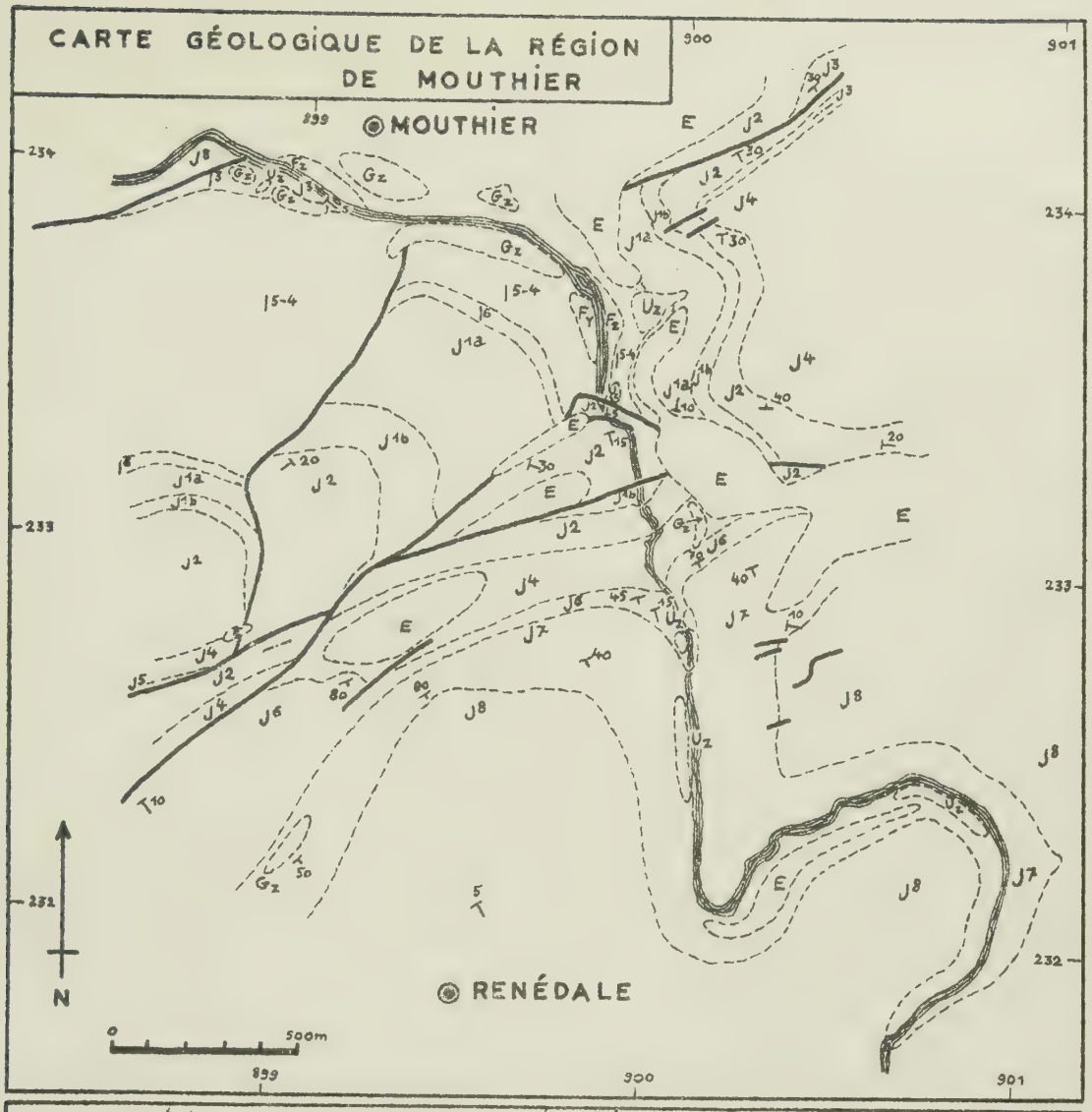
CARTE STRUCTURALE DE LA RÉGION DE ROSUREUX.

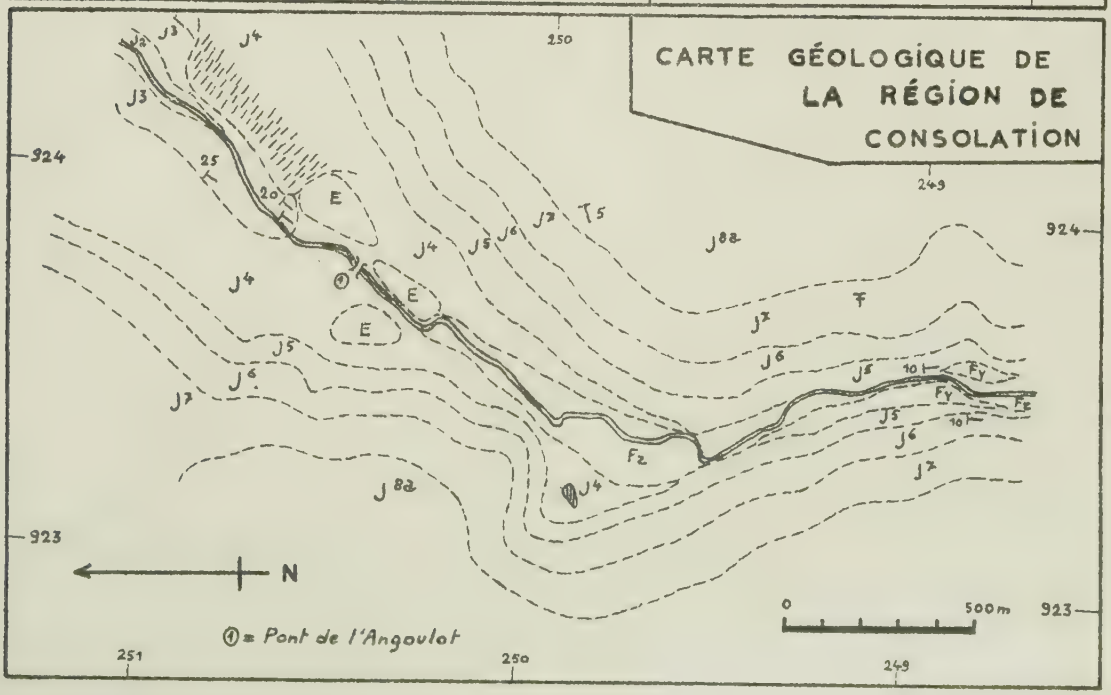
AU TOIT DES MARNES DE L'OXFORDIEN.

Échelle: 1 / 50.000ème

pl. IX

pl. X


CARTE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE MOUTHIER
MOUTHIER
RENÉDALE
N
0
500m
899
900
901
234
233
232


CARTE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE CONSOLATION
N
0
500m
① = Pont de l'Angoulot
924
923
249
250
251